



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FI DE CARRERA

TÍTOL: Disseny d'estructures per a sismòmetres marins

AUTOR: JORDI BENACH FORNS

TITULACIÓ: ETI MECÀNICA

DIRECTOR: MONTSERRAT CARBONELL VENTURA

DEPARTAMENT: MECÀNICA DE FLUIDS

DATA: 26 DE JUNY DE 2009

TÍTOL: DISSENY D'ESTRUCTURES PER A SISMÒMETRES MARINS

COGNOMS: BENACH FORNS

NOM: JORDI

TITULACIÓ: ENGINYERIA TÈCNICA INDUSTRIAL

ESPECIALITAT: MECÀNICA

PLA: 1995

DIRECTOR: MONTSERRAT CARBONELL VENTURA

DEPARTAMENT: MECÀNICA DE FLUIDS

QUALIFICACIÓ DEL PFC

TRIBUNAL

PRESIDENT

SECRETARI

VOCAL

DATA DE LECTURA:

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: ☐ Sí ☐ No

PROJECTE FI DE CARRERA

RESUM (màxim 50 línies)

En el present treball es desenvolupa l'estudi de modificacions tècniques efectuades en un sismòmetre marí de profunditat (OBS) equip que recull informació de sismicitat activa i passiva.

Per tal d'optimitzar la fiabilitat i la manipulació dels sismòmetres marins s'ha treballat en l'adequació d'un nou sistema d'alliberament. Per a validar-lo s'han fet els càlculs necessaris així com proves de camp amb un resultat excel·lent, ja que en els 20 equips que s'han llençat al mar durant les campanyes oceanogràfiques estudiades hi ha hagut un 100% d'efectivitat en la recuperació dels equips.

Una vegada s'ha contrastat la seva fiabilitat, es vol anar un xic més enllà i redissenyar la seva estructura, per tal de fer-lo més compacte i alhora més manejable, sobretot a fora de l'aigua. Per a fer aquest estudi s'ha utilitzat el programari SolidWorks, programa de disseny assistit per ordinador, en el que a partir de dibuixos 2D permet passar-los a 3D utilitzant diferents funcions com l'extrusionat, el buidatge,..., fins que finalment tenim un OBS virtual del qual s'han fet també els càlculs hidrodinàmics donant uns millors resultats que els obtinguts amb l'estudi anterior.

Finalment s'ha fet l'estudi econòmic, quedant pendent l'aprovació d'aquest. Val a dir que l'increment de preu respecte el miniDOBS és d'un 45%, degut sobretot a l'ús de motlles per a la construcció de l'estructura.

Paraules clau (màxim 10):

OBS	Sísmica Marina	Àncora	Carcassa
Optimització	SolidWorks	Alliberament	Proves de Camp

SUMARI

- MEMÒRIA
- ANNEXES

Índex

1. Introducció.....	1
1.1. Objectiu.....	1
1.2. Antecedents.....	1
1.3. Mètodes sísmics	4
1.4. Sísmica activa.....	5
1.4.1. Sísmica de reflexió.....	7
1.4.2. Sísmica de refracció	9
2. Estat de l'art dels OBS.....	12
2.1. Tipus de sismometres marins de profunditat	12
2.1.1. Font de senyal	12
2.1.2. El geòfon.....	14
2.1.3. L'hidròfon	16
2.2. Recull dels simòmetres de fons marí existents	17
2.2.1. Geomar OBS	17
2.2.2. Geomar K/MT 562	18
2.2.3. IRD- UTG OBS	20
2.2.4. Hippocampe OBS	21
2.2.5. Ifremer MicroBS	23
2.2.6. LC-200	24
2.3. Característiques més rellevants del prototipus SARTI-UPC des simòmetre marí. OBS.....	26
2.3.1 Components de l'OBS	28
2.3.1.1 Esfera	
2.3.1.1.1 Electrònica d'adquisició de dades	
2.3.1.1.2 Electrònica de l'alliberador acústic	
2.3.1.2 Estructura de polietilè groc	
2.3.1.3 Base de niló blava	
2.3.1.4 Part superior de la base	
2.3.1.5 Transductor	
2.3.1.6 Bandera	
2.3.1.7 Reflector	
2.3.1.8 Alliberador electroquímic	
2.3.1.9 Braços per a sostenir el geòfon	
2.3.1.10 Geòfon, SM 6 de 3 components	
2.3.1.11 Alliberador del geòfon	
2.3.1.12 Hidròfon	
2.3.1.13 Àncora	
2.3.2 Problemàtica en la recuperació dels equips	36
2.3.3 Conclusions	37
3. Millors efectuades en el miniDOBS	38
3.1. Sistema de recuperació en superfície (antena i llum)	38
3.2. Actuador electromecànic.....	38
3.3. Constitució del nou sistema de llastrat.....	39
3.3.1. Consideracions prèvies.....	40
3.3.2. Pes del mort Mw	44
3.3.3. Longitud de la corda	46

3.4. Proves de camp	47
3.4.1. Primer conjunt de proves	48
3.4.2. Segon conjunt de proves	49
3.5. Conclusions	50
4. Nova estructura mecànica de l'OBS.....	51
4.1. Proposta de la nova estructura	52
4.2. Desenvolupament mecànic de la nova estructura.....	52
4.3. Càlculs	58
4.3.1. Càlcul de la velocitat d'ascens.....	61
4.3.2. Càlcul de la velocitat de descens i del pes de l'àncora	62
4.3.3. Càlcul de la longitud de la corda de l'alliberador.....	63
4.4. Conclusions	64
5. Pressupost.....	65
6. Aspectes mediambientals i conclusions	69
6.1. Aspectes mediambientals	69
6.2. Conclusions	70
7. Bibliografia	72
8. Annexes	74
Annex A. Gràfiques proves de camp	
Annex B. Normativa	
Annex C. Plànols	

1. Introducció

1.1 Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte es fer diferents aportacions en el disseny de la estructura mecànica de un sismòmetre de fons marí, per tal de millorar la ràtio en la recuperació dels equips utilitzats a les diferents campanyes oceanogràfiques, així com facilitar la seva manipulació a bord dels vaixells, i en les operacions de preparació i posada a punt dels equips.

Un sismòmetre de fons marí al llarg del treball l'anomenarem amb OBS, sigles de Ocean Bottom Seismometer.

1.2 Antecedents

Els mètodes sísmics han jugat històricament un paper clau en l'ampliació del coneixement de l'estructura i les propietats físiques dels diferents nivells que conformen l'interior de la terra. En línies generals, aquests mètodes permeten estimar la geometria dels nivells interns i el camp de velocitat de propagació de les ones sísmiques generades per fonts naturals (sismes) i/o artificials (explosions) en una zona determinada; a partir dels sismogrames registrats en una sèrie de sensors sísmics. Aquestes imatges estructurals han permès, a la vegada, comprendre millor els processos d'interacció entre el mantell i la litosfera, responsables en últim terme de la tectònica de plaques.

Alguns dels seus efectes més notables (activitat sísmica i vulcanològica, producció d'hidrocarburs, etc) es produeixen principalment en els límits convergents de les plaques tectòniques (zones de subducció) que es localitzen majoritàriament en els límits entre oceans i continents. Per tant resulta indispensable investigar els marges actius mitjançant experiments combinats terra-mar per a comprendre l'origen i la naturalesa dels processos que els afecten.

La tomografia sísmica ha jugat un paper clau en l'ampliació dels nostres coneixements de la dinàmica de la Terra i de la seva estructuració interna.

Possiblement sigui el millor mètode, a falta de la testificació directa, per a la determinació de paràmetres físics de les roques i materials constituents. Aquests paràmetres s'obtenen de forma indirecta a partir de les dades sísmiques i requereixen del coneixement dels temps recorreguts pel front de les pertorbacions acústiques (ones sísmiques) i de les seves trajectòries. Per això, és bàsic el registre d'aquests fronts d'ona amb diferents azimuts mitjançant sensors sísmics (geòfons). La resolució depèn de la cobertura i número de sensors susceptibles de registrar les pertorbacions i els seus temps d'arribada. A terra, la resolució i cobertura és adequada en l'àmbit regional, i es relativament fàcil augmentar-la en casos específics, i mitjançant la disposició d'estacions sísmiques portàtils (p.e. per estudis de microsismicitat). No obstant, és important senyalar que la dinàmica de la litosfera, associada a la interacció de les plaques tectòniques passa en major part en les conques i marges oceànics (més del 99% de l'activitat tectònica -volcànica de la Terra prové dels marges continentals i zones d'acreció oceànica), tot i això la distribució d'estacions sísmiques marines està lluny de les equivalents a la terra, si bé sigui per la complexitat tecnològica que requereix el medi, ja sigui per les dificultats d'accés al registre de les mateixes o simplement per qüestions logístiques. Per això, avançar en aquests aspectes redundarà, sens dubte, en un major i millor coneixement dels processos que intervenen en la dinàmica de la litosfera terrestre.

Els instruments més utilitzats per a l'estudi dels processos sísmics submarins son els sismòmetres de fons oceànic (OBS), instruments autònoms que es mantenen fixes i immòbils durant l'experiment. Els sismòmetres marins es dipositen en el fons marí, on registren sèrie temporals de dades (front d'ona acústica), realitzant-se la recuperació (del fons marí) dels mateixos mitjançant alliberadors acústics. A terra, els sensors equivalents (estacions sismològiques) van començar a utilitzar-se a principis del segle XX, però a nivell marí el seu desenvolupament i utilització és molt més recent. Els OBS començaren a desenvolupar-se a la dècada dels 70, i a partir de llavors la seva tecnologia no ha parat d'evolucionar, la seva utilització en l'àmbit de les Ciències de la Terra s'estén ràpidament i son cada vegada més nombrosos els grups de diversos països que intenten desenvolupar i perfeccionar els seus propis instruments.

L'any 1996, i mitjançant un projecte nacional de transferència de tecnologia (REF: INP96-0158) la Unitat de Tecnologia Marina del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) en col·laboració amb la Universitat de Cambridge, es va desenvolupar el primer sismòmetre marí de profunditat a Espanya. De moment, tot i les activitats de recerca i desenvolupament realitzades, l'autonomia, la fiabilitat i el número d'OBS disponible per la comunitat científica internacional son encara inferiors a les de les estacions terrestres, però els progressos realitzats en aquests sentit son ràpids i evidents. Un dels objectius principals és el d'obtenir imatges estructurals d'alta resolució en els marges actius, per a poder localitzar amb precisió la sismicitat. Això permetrà determinar els mecanismes focals dels sismes, dotant de components dinàmiques a les imatges purament estructurals proporcionades per les dades sísmiques actives i, poder identificar les estructures tectòniques (falles actives, zona sismogènica inter-plaques) i comprendre els processos de deformació activa, generadores dels grans terratrèmols que ataquen periòdicament aquestes regions.

En l'àmbit nacional, excepte el grup SARTI (Sistemes de Adquisició Remota i Tractament de la Informació) de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) amb col·laboració del CSIC (Consell Superior d'Investigacions Científiques) i la UPNa (Universitat Pública de Navarra), no existeix cap altre grup que estigui treballant en el desenvolupament d'un equipament similar, encara que aquest no és el cas en l'àmbit internacional. Així les grans institucions en el camp de la investigació marina, tant europees (IFREMER i Géosciences Azur a França, GEOMAR a Alemanya i Universitat de Cambridge a Anglaterra) com nord-americanes (Woods-Hole, SCRIPPS, Lamont Doherty, Universitat de Texas) i japoneses (JAMSTEC), tenen equips de característiques similar. En uns casos els sensors son hidròfons, i en altres son geòfons de 3 components, en la majoria dels casos de curt període, amb una freqüència natural de 4.5 Hz, i en alguns casos de banda ampla, fins a 240s en el cas dels SCRIPPS. Els dos grans centres d'investigació marina a EEUU, Woods-Hole Oceanographic Institution (Massachusetts), i SCRIPPS de San Diego, son pioners en el desenvolupament tecnològic de sismòmetres marins profunds. El projecte OBSIP de la NSF a Estats Units, per exemple, finança actualment la

construcció d'un parc Nacional de més de 200 OBS de curt període (4.5Hz) i de banda ampla per a la utilització de la comunitat científica en experiments de monitoratge, estudi i vigilància dels processos sísmics i de l'estructura de l'escorça terrestre. En altres països com França o Japó existeixen iniciatives similars.

Tal com ja ha estat introduït al principi de la memòria. L'objectiu central d'aquest projecte és la millor en el disseny de l'estructura dels sismòmetres marins a partir dels resultats parcials aconseguits pels investigadors del grup SARTI en els projectes Sensual (2001-2003) i Sigsensual (2004-2007 Transmissió de Senyal en els Sensors Submarins Autònoms Lleugers CTM2004-04510-C03-00) finançats pel Ministeri de Ciència i Tecnologia.

1.3 Mètodes sísmics

La sísmica apareix inicialment com la ciència que estudia el comportament destructiu dels terratrèmols, i més tard, constata que l'anàlisi de les ones produïdes en els sismes conté una informació molt bona pel coneixement de l'estructura interna de la Terra, localitzant reserves minerals, aigua i hidrocarburs.

La sísmica seria una ciència diferent sense instruments. Els majors avanços realitzats en aquest àmbit van ser al voltant del any 1900 i des de llavors, gràcies a la innovació en la sensibilitat dels sismògrafs i altres equips, els terratrèmols podrien ser localitzats. A posteriori, la importància de les mesures de precisió del moviment real de la Terra es va convertir en evident per a l'estudi de l'atenuació de les ones sísmiques.

L'habilitat per a trobar la localització d'un terratrèmol i calcular la magnitud immediatament, ens porta a dos requeriments bàsics d'instrumentació: mesurar el temps en el precís instant i determinar la relació de dependència amb la freqüència entre la mesura i el moviment real de la Terra.

Principalment es poden detectar amb la sísmica:

- a) Límits de capes
- b) Falles
- c) Porus reomplerts (com petroli)

L'exploració sísmica activa es basa en la generació, mitjançant dispositius mecànics, de fronts d'ona acústics en el rang de 5 Hz a 100Hz. Aquest front d'ones viatja a través del subsòl, trobant canvis en les diferents capes geològiques de la Terra, provocant ecos (reflexions) que viatgen per la superfície, on els sismòmetres que utilitzen transductors electromecànics (geòfons) detectaran i convertiran a senyals elèctriques, que convenientment amplificades i filtrades, seran tractades mitjançant programes de processat digital.

Per a realitzar l'exploració sísmica s'utilitzen dos tipus de tècniques: la reflexió i la refracció, basades en la detecció, registre i estudi de les ones que es generen en les interfases de les diferents capes, constituïdes per materials diferents, quan un ona generada artificialment arriba a aquest punt.

1.4. Sísmica activa

Depenent de la disposició relativa de les fonts i els sensors, els mètodes sísmics es classifiquen en mètodes de reflexió i de refracció. En la sísmica de reflexió, els sensors estan situats pròxims a les fonts ($10\text{-}10^3$ m) i es disposen generalment al llarg d'una línia (l' *streamer*, en el cas dels experiments marins), que es desplaça solidàriament amb les fonts (únicament artificials). Donada la seva geometria, en aquest tipus d'experiments es registren bàsicament les ones reflectides als diferents nivells de profunditat. Aquest mètode, àmpliament utilitzat a nivell científic i industrial (prospecció d'hidrocarburs), permet obtenir imatges estructurals d'alta resolució dels nivells menys profunds de la litosfera (escorça). El límit ve determinat principalment per la pèrdua d'energia de les ones reflectides i transmeses a cada interfase. D'altra banda, el temps de trajecte de les diferents reflexions depèn tant de la

velocitat de propagació com de la profunditat dels reflectors, amb lo que resulta complicat determinar ambdós paràmetres per separat a partir únicament d'aquestes dades.

D'altra banda, en la sísmica de refracció els sensors es poden localitzar en un ampli rang de distàncies de les fonts ($\sim 10^3$ - 10^6 m), permetent registrar no únicament les ones reflectides sinó també les refractades en els diferents nivells. Aquestes fases contenen informació directa de la velocitat de propagació de les ones generades per les fonts (tant actives com passives) i, per tant, de les propietats físiques d'aquests nivells. Per tant, en aquest cas és més senzill determinar la seva velocitat sísmica i la profunditat a partir del temps de trajecte de les ones refractades. Un problema fonamental de la sísmica de refracció, es el *tradeoff* existent entre la resolució de les imatges obtingudes i la profunditat de l'objecte que es vulgui caracteritzar. Quan més profund sigui l'objecte, més s'han de separar les fonts i els receptors, i a la vegada menor és la resolució de la imatge obtinguda. La màxima profunditat de propagació de les fases ve determinada per la separació entre fonts i receptors. La geometria de cada experiment, per tant, s'estableix en funció de la profunditat i les dimensions de l'objecte que es vol caracteritzar (des de l'escorça fins el mantell profund).

1.4.1 Sísmica de Reflexió

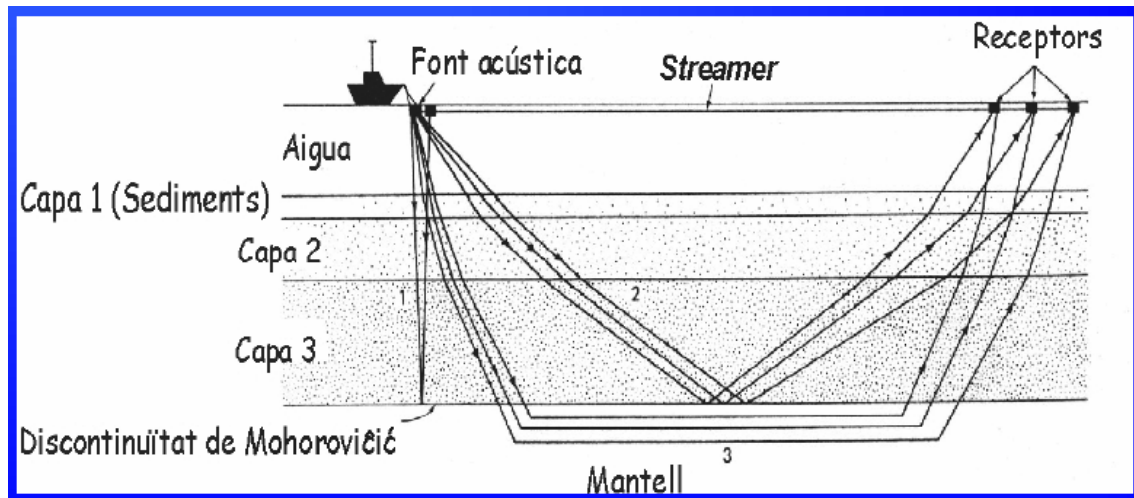


Figura 1.1 Sísmica de Reflexió.

La sísmica de reflexió és un mètode que utilitza l'emissió d'ones des d'un vaixell oceanogràfic, ones que incideixen en el fons marí des on descendiran cap a l'interior del subsòl, fins que topin amb un canvi de medi, on es generarà una ona reflectida. En figura 1.1 es mostra un diagrama del comportament del front de ones acústiques.

Registat amb múltiples hidròfons l'ona directa, l'ona reflectida, mesurant el temps entre l'arribada de les dues ones i la diferència d'energia entre elles, es poden determinar la profunditat de les diferents capes litològiques i les propietats de cadascuna d'aquestes.

Es genera l'ona directa a partir d'una font d'ones sísmiques proporcionada per canons d'aire comprimit situats a bord d'un vaixell oceanogràfic; l'ona directa es propaga en el medi superior amb la velocitat uniforme v_1 . L'ona reflectida es genera per la reflexió de l'ona directa incident en la interfase entre medi 1 i medi 2 i es propaga amb la velocitat v_1 . Una porció de l'ona incident en la interfase entre medi 1 i medi 2 passa per la interfase i es refracta. L'ona refractada es propaga en el segon medi amb la velocitat v_2 .

A través de les dades entregades per les reflexions sísmiques es poden construir l'horitzó de reflexió que correspon a un canvi de materials. Per exemple diferents estrats o falles tectòniques.

Comentar per últim que la distància entre la font generadora d'ones acústiques i el geòfon es petita comparada amb la profunditat de la reflexió.

Angle Crític. Reflexió Total

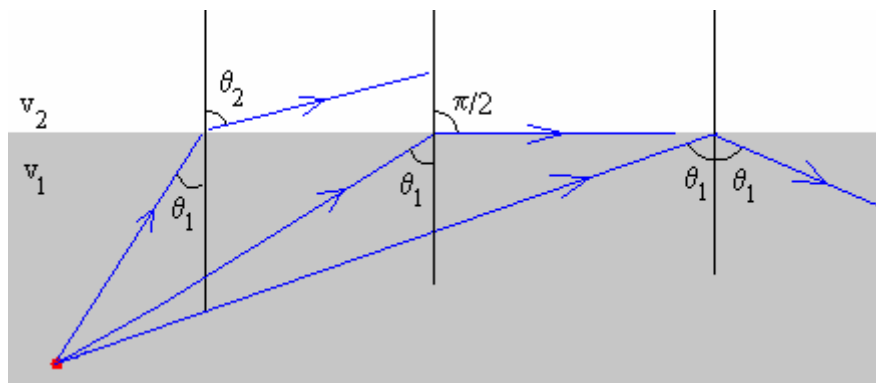


Figura 1.2 Angle Crític. Reflexió Total.

A la figura 1.2, observem que a mesura que s'incrementa l'angle d'incidència θ_1 l'angle de refracció augmenta fins que es fa igual a $\pi/2$. Si es torna a incrementar l'angle d'incidència, l'ona incident es reflexa en el primer medi.

Si $v_1 > v_2$ l'angle $\theta_1 > \theta_2$ el raig refractat s'acosta a la normal

Si $v_1 < v_2$ l'angle $\theta_1 < \theta_2$ el raig refractat s'allunya de la normal

En el segons cas, per un angle límit θ_c l'angle de refracció és $\theta_2 = \pi/2$

L'angle límit és aquell angle incident per el que el raig refractat emergeix tangent a la superfície de separació entre els dos medis.

Si l'angle d'incidència és major que l'angle límit, el sinus de l'angle de refracció resulta major que la unitat. Això indica, que les ones que incideixen amb un angle major que el límit no passen al segon medi, sinó que son reflectides totalment a la superfície de separació.

1.4.2 Sísmica de refracció

La sísmica de refracció es basa en la generació d'ones sísmiques mitjançant canons d'aire comprimit ubicats a bord d'un vaixell oceanogràfic; fent-les incidir sobre una interfície entre capes litològiques amb un angle crític. L'ona refractada que es generarà, es desplaçarà per la capa litològica inferior, paral·lelament a la frontera entre capes, fins que tornarà a la capa superior on serà registrada. A la figura 1.3 podem veure un diagrama del mètode de sísmica de refracció.

Registrant aquesta ona refractada amb múltiples geòfons, juntament amb el temps i la distància que ha estat viatjant, podem aproximar la velocitat d'una ona en una capa litològica concreta i d'aquesta forma determinar les propietats geològiques d'aquesta capa. La discontinuïtat de Mohorovic (Moho) divideix la superfície i el mantell terrestres i dins de les conques oceàniques aquesta discontinuïtat es troba localitzada a uns 6 o 7 km i en els continents a uns 40 km. La velocitat de propagació s'incrementa amb l'edat geològica i la profunditat.

ESTRAT	VELOCITATS	GRUIX
CAPA 1	SEDIMENTS	< 500 m.
CAPA 2	$5,07 \pm 0,63 \text{ km/ s}$	$1,71 \pm 0,75 \text{ km.}$
CAPA 3	$6,69 \pm 0,26 \text{ km/ s}$	$4,86 \pm 1,42 \text{ km}$
MANTELL	$8,13 \pm 0,24 \text{ km/ s}$	-

Taula 1.1 Relació entre les velocitats de propagació i els gruixos.

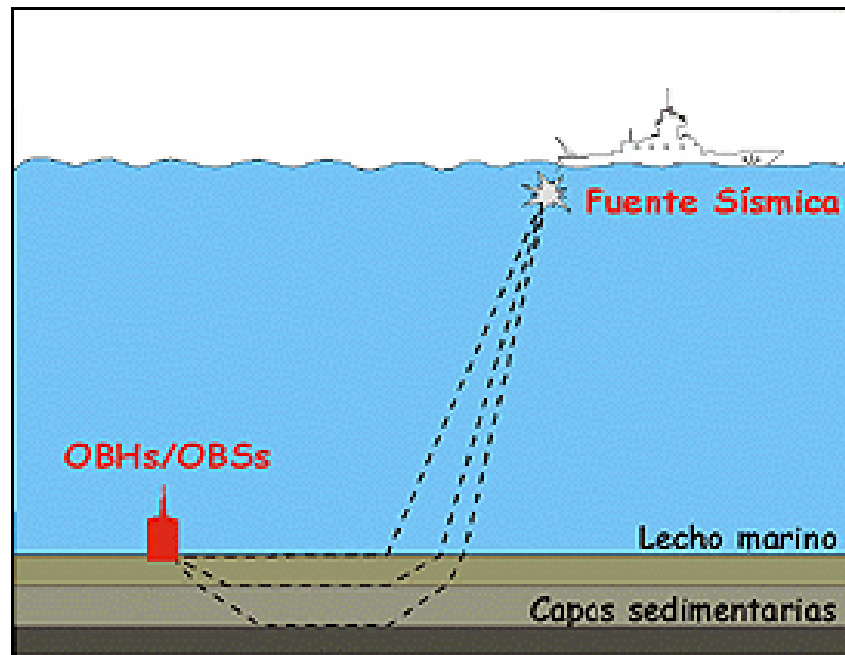


Figura 1.3 Procediment esquemàtic de la Sísmica de Refracció.

En la generació artificial de ones sísmiques s'utilitza energia de baixa freqüència entre 1 i 25 Hz. Les freqüències dominants es troben entre 5 i 20 Hz.

Per a la detecció de ones refractades seran necessaris geòfons de freqüència natural per sota de 5 Hz, sensibles a vibracions entre 5 i 100 Hz.

S'ha de destacar que la distància entre la font generadora de ones acústiques i el geòfon es gran comparada amb la profunditat de refracció, viatjant les ones horitzontalment.

A diferència de la sísmica de reflexió, en la sísmica de refracció els sensors són autònoms i es mantenen fixos i immòbils durant l'experiment. A terra, els sensors a (estacions sísmiques) van començar a utilitzar-se al principi del segle XX, però a nivell marí el seu desenvolupament i utilització és molt més recent. Els sismòmetres de fons oceànic (OBS Ocean Bottom Seismometers) van començar a desenvolupar-se en la dècada dels 70, i a partir de llavors la seva tecnologia no ha parat d'evolucionar, la seva utilització en l'àmbit de les Ciències de la Terra s'estén ràpidament i són cada vegada més nombrosos els

grups de diversos països que intenten desenvolupar i perfeccionar els seus propis instruments. De moment, l'autonomia, la fiabilitat, i el número d' OBS disponible per la comunitat científica internacional son encara inferiors a les de les estacions terrestres, però els progressos en aquest sentit son ràpids i evidents. En la pròxima dècada s'espera disposar d'una cobertura similar de OBS equivalents a les estacions terrestres. Un dels objectius principals és el d'obtenir imatges estructurals d'alta resolució en els marges actius, per a poder localitzar amb precisió la sismicitat, i amb ell, identificar les estructures tectòniques (falles actives) i comprendre els processos de deformació activa generadores dels grans terratrèmols que afecten periòdicament aquestes regions.

2. Estat de l'art dels OBS

2.1. Tipus de Sismòmetres marins de profunditat

Una estació sísmica marina consisteix en un conjunt format per un sistema de flotació, una àncora i un sistema autònom d'adquisició i registre de dades que incorpora un rellotge d'alta precisió connectat al sistema sensor, compostat per un hidròfon i un geòfon triaxial. El geòfon ens permet enregistrar les tres components de la velocitat de propagació de l'ona en el subsòl, la component vertical i les dues horitzontals. Mitjançant l'hidròfon podem conèixer la variació de l'ona de pressió de l'aigua. La informació facilitada per aquests sensors analògics en un entorn sorollós, ens permetrà estimar la intensitat dels sismes (sísmica passiva) i conèixer les característiques del subsòl (sísmica activa). El coneixement de les característiques del geòfon en front a les vibracions es imprescindible per aconseguir un sismòmetre marí precís i amb una bona relació senyal/soroll.

2.1.1 Font de senyal

La font de senyal més utilitzada en sísmica marina són els canons d'aire comprimit (Figura 2.2). Es poden aconseguir pressions de fins a 10000 psi (70 MPa) encara que canons de 2000 psi (14 MPa) són habituals. Normalment s'agrupen varis canons junts per aconseguir pics de senyal majors (>50 bar-m) en el rang de freqüències 1-128 Hz. En estudis de sísmica de refracció, aquesta senyal pot ser detectada a través d'ones viatjant per el fons marí fins a una distància de 500 km. La posició del canó és coneguda durant tot l'experiment mitjançant un sistema GPS (Global Positioning System). Els canons d'aire comprimit produeixen una àmplia varietat de polsos i espectres. L'amplitud del pic decreix amb la mida del canó. Una característica important d'aquest tipus de fonts és la repetibilitat de la seva firma acústica després de molts trets. Mitjançant hidròfons col·locats a poca distància (1m) del canó es mesura la senyal de sortida. En la figura 2.1 es mostra la senyal de sortida i el seu corresponent espectre freqüencial.

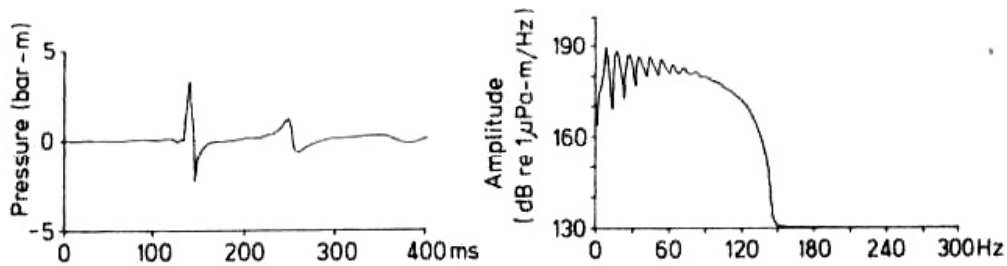


Figura 2.1: Senyal de sortida d'un canó d'aire comprimit i el seu espectre freqüencial.

Els trets d'un canó d'aire comprimit genera una senyal primària (útil) d'alta energia i senyals secundàries (no útil) degut a l'oscil·lació de la bombolla. Per aconseguir un pic d'energia útil en un grup de canons i minimitzar l'efecte de les oscil·lacions secundàries, els trets dels canons estan controlats per temps, de manera que els polsos d'alta energia s'interfereixen constructivament mentre que els polsos secundaries pateixen interferència destructiva. Les noves tècniques de disseny de canons minimitzen les oscil·lacions de la bombolla mitjançant injecció d'aire dins ella una vegada ha disparat el canó. A més de la mida dels canons, l'espai entre canons també és un paràmetre important en el disseny del grup de canons. Si els canons estan separats per més d'una longitud d'ona de la seva senyal de sortida, aquesta es veu afectada per la interacció de les bombolles.



Figura 2.2 Canons d'aire comprimit.

2.1.2 El geòfon

Un dels sensors incorporats en els sismòmetres marins és el geòfon. S'utilitza per a detectar les ones sísmiques que arriben a la superfície de la terra. Avui en dia, la majoria dels geòfons utilitzats estan basats en el moviment d'una espira dins d'un camp magnètic. La figura 2.3 mostra un imant permanent col·locat dins de dues espiras suspeses mitjançant molles apropiades. El geòfon es diposita en el fons marí i quan aquest es mou, l'imant també es mou però l'espira tendeix a mantenir-se en repòs degut a la seva inèrcia. El moviment relatiu entre l'espira i el camp magnètic genera una tensió entre ambdós terminals de l'espira. S'amplifica aquesta tensió mitjançant amplificadors de baix soroll i es transmet al mòdul de registre i emmagatzematge de dades mitjançant cables.

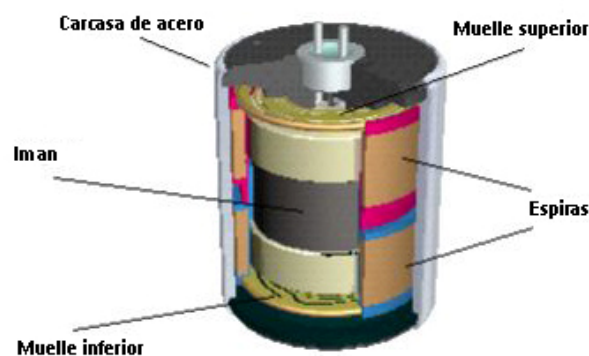


Figura 2.3: Esquema estructural d'un geòfon

Existeixen geòfons verticals i horitzontals per a detectar els moviment sísmics entre dos plans. Per captar les ones sísmiques en cada eix de coordenades, els sismòmetres marins utilitzen un geòfon vertical i dos geòfons horitzontals, col·locats dins d'un habitacle capaç de suportar les altes pressions del fons marí. El geòfon mesura l'acceleració provocada pel moviment del fons marí tant en sísmica activa com passiva. La resposta del sensor està definida per la seva funció de transferència que ve en la següent expressió (Havskov *et al.* 2004):

$$H(s) = \frac{R_{load} \left(\frac{k}{R} \right) s}{s^2 + \left(\frac{\tau}{m} + \frac{k^2}{Rm} \right) s + \left(\frac{S}{m} \right)} \quad [2.1]$$

τ = factor d'esmoreïment mecànic

m = massa de l'espira

R = resistència de l'espira

S = constant de la molla

R_{load} = resistència de carga

k = paràmetre k ve donat per:

$$k = 2\pi r n H \quad [2.2]$$

r = radi de l'espira (m)

n = número de voltes de l'espira

H = valor del camp magnètic.

La freqüència natural del geòfon ω_n està entre 4 y 10 Hz en sísmica de refracció, i en sísmica passiva es necessita una freqüència de ressonància de l'ordre de 1 Hz. L'expressió 2.1 implica que:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{S}{m}} \quad [2.3]$$

L'expressió 2.3 indica que per reduir la freqüència de ressonància del geòfon es necessari augmentar la massa de l'espira i per tant la mida del sensor, de manera que una reducció d'una dècada en la freqüència de ressonància suposa un augment en la masa de l'espira d'un factor de 100. Aquest augment en la massa i la mida del geòfon fa que els sismòmetres marins construïts per a sísmica passiva i activa siguin estructuralment diferents.

2.1.3 L'hidròfon

L'hidròfon és un sensor piezoelèctric utilitzat per a detectar les ones sísmiques capaces de viatjar per l'aigua. Els canvis de pressió dins de la columna d'aigua produeixen petites tensions en el circuit del transductor que són amplificades i enviades al sistema d'adquisició mitjançant cables submarins. Normalment s'integra l'amplificador dins del transductor per a minimitzar les pèrdues en el cable. La sensibilitat de l'hidròfon s'expressa en dB rel 1 V/ μ Pa de manera que una sensibilitat de -180 dB rel V/ μ Pa significa que l'hidròfon en circuit obert genera una tensió *RMS* (Root Mean Square) de 1nV quan es situa en un camp acústic amb una precisió de 1 μ Pa. La figura 2.4 mostra la resposta freqüencial d'un hidròfon:

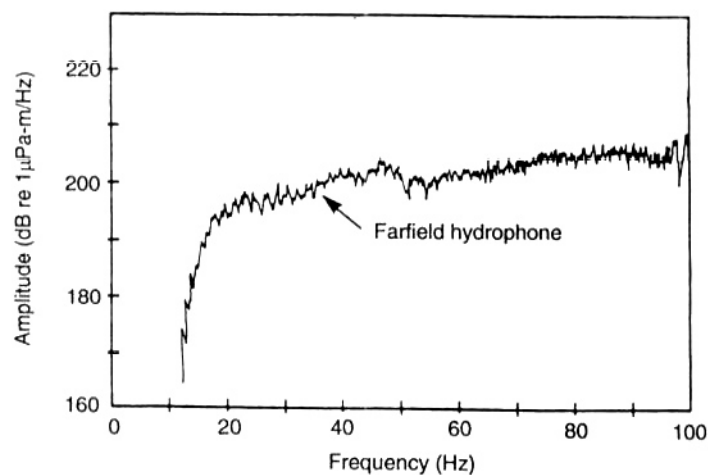


Figura 2.4: Resposta freqüencial de l'hidròfon

Els sismòmetres marins estan equipats amb un hidròfon per a detectar tant l'ona directa generada pel canó d'aire comprimit, com les seves corresponents reflexions en el fons marí. Els hidròfons piezoelèctrics tenen una alta impedància de sortida pel que s'ha d'utilitzar amplificadors de càrrega per a transferència màxima d'energia.

2.2 Recull dels Sismòmetres de fons marí existents

Si mirem els diferents tipus de OBS existents en el mercat, podem comprovar que en l'àmbit nacional, excepte el grup SARTI de la UPC amb col·laboració amb el CSIC (Consell Superior d'Investigacions Científiques) i la UPNa (Universitat Pública de Navarra), no existeix cap altre grup que estigui treballant en el desenvolupament d'un equipament similar, encara que aquest no és el cas en l'àmbit internacional. Actualment existeixen diversos centres d'investigacions marines dedicats al disseny i construcció de sismòmetres marins. A continuació s'exposen les característiques d'alguns equips

2.2.1 GEOMAR OBS: Els primers OBSs de l'institut d'investigacions marines GEOMAR de Kiel a Alemanya van ser construïts el 1999. El seu disseny està basat en l'Ocean Bottom Hydrophone (OBH) de l'any 1991. L'estructura de l'OBS es basa en un trípod metàl·lic on s'ajunten els diferents mòduls que componen l'instrument, i espuma sintètica per a la flotabilitat. L'instrument disposa de tub de pressió de titani on allotja un sistema d'adquisició de dades (datalogger) anomenat *Geolon MLS* dissenyat per *SEND GmbH*. A més disposa d'un hidròfon i un geòfon triaxial extern, basat en els acceleròmetres de freqüència natural 4.5 Hz, un per a cada eix de coordenades. La recuperació de l'equip es realitza a través d'un alliberador acústic amb actuador mecànic (motor), que utilitza un altre tub de pressió per a l'electrònica de comunicació i les bateries d'aquest mòdul. La comunicació amb l'equip per efectuar l'alliberament es fa mitjançant un transductor acústic. Per la detecció de l'instrument en superfície, està equipat amb un sistema de transmissió per radio freqüència en la banda VHF (Very High Frequency) i un sistema de llum intermitent per al seu rastreig durant la nit. L'equip té un diàmetre de 1.20 m, una altura de 2 m i el seu pes és de 165 kg aproximadament inclòs el pes de l'àncora. La profunditat màxima d'operació és de 6000 m i la seva autonomia és de 2 setmanes en registre continuat a 500 sps. La figura 2.5 mostra un esquema del sismòmetre

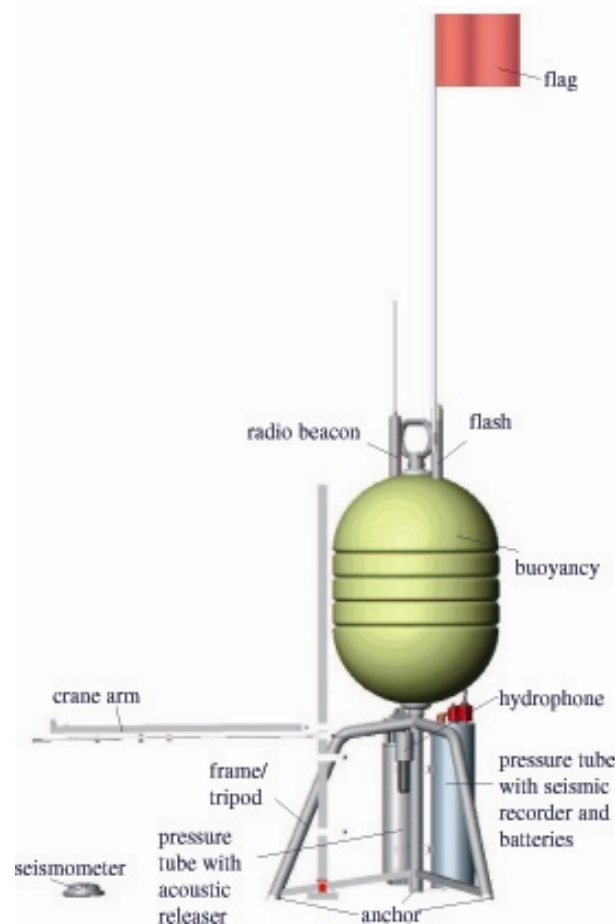


Figura 2.5: Esquema del sismòmetre marí Geomar OBS

2.2.2 GEOMAR K/MT 562: l'any 2002, Geom va realitzar un nou disseny de l'estructura mecànica del model anterior per reduir la mida del sismòmetre amb l'objectiu de poder acoblar geòfons especials per sismologia amb una dimensió i pes més gran que els utilitzats per a estudis sísmics, a més de poder augmentar el nombre de sismòmetres utilitzats en les campanyes científiques (Biala et al. 2002). Amb aquest objectiu, s'ha baixat el centre de masses de l'equip i s'ha augmentat el pes de l'instrument per proporcionar més estabilitat a l'equip. El sistema de registre i emmagatzematge de dades, l'alliberador acústic i els sensors utilitzats són els mateixos que el model anterior encara que les dimensions actuals de l'equip són: 1.2 m de longitud, 1.04 m d'amplada i 0,61 m d'altura, sent el pes total 255 Kg inclòs l'àncora. Aquest model va ser utilitzat en la campanya científica CALIBRA 2006 on es va dur a terme una comparació entre el funcionament d'aquest i en prototip del

OBS construït a la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). La figura 2.6 mostra una foto d'aquest model:

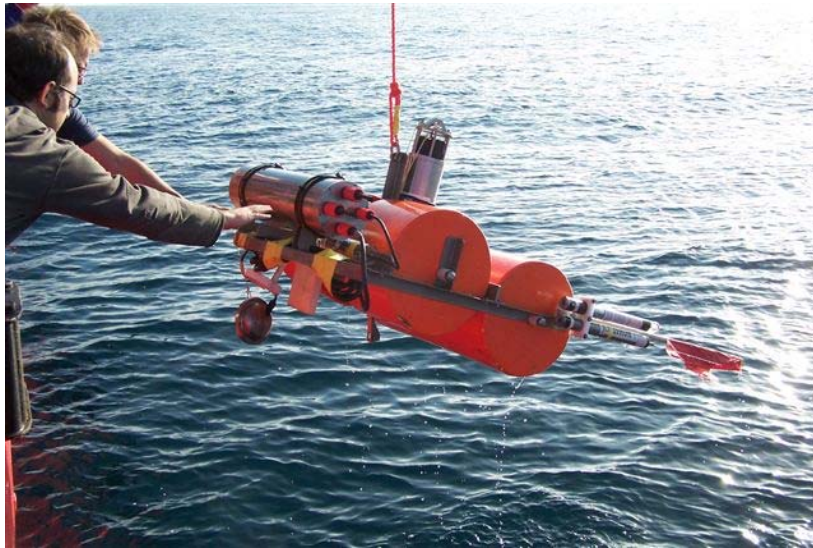


Figura 2.6: Esquema del sismòmetre marí K/MT 504 de Geomar

Com s'ha comentat anteriorment, el sistema de registre i emmagatzematge de dades utilitzat en els OBSs de Geomar és el *Mathusalem MBS* de *SEND GmbH*. Aquest sistema disposa de quatre entrades analògiques, tres per als components del geòfon i un per al hidròfon. El senyal d'entrada és amplificada per amplificadors de baix soroll i digitalitzada mitjançant convertidors Analògic-digital (ADC) de tipus Sigma-Delta de 22 bits. Un processador digital de senyal (DSP) s'encarrega de processar les dades i posteriorment emmagatzemar en memòries de tipus PCMCIA. La capacitat total d'emmagatzematge és de 8 GB mentre el consum energètic és aproximadament 1.5 W. La base de temps del sistema està compost per un mòdul TCXO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) *Seascan* amb una estabilitat amb la variació de temperatura de 20 ppb (2×10^{-8}). La resolució i la relació Senyal - Soroll (SNR) del sistema complet ve donat per la freqüència de mostreig configurat per l'usuari. La taula 2.7 mostra la relació senyal - soroll i la resolució del sistema per a cada freqüència de mostreig:

Freqüència de mostreig (sps)	Resolució (bits)	Relació Senyal-Soroll (dB)
50-500	20	>100
500-10000	16	>100

Figura 2.7: Resolució i relació senyal - soroll del datalogger Geolon MBS

2.2.3 IRD-UTIG OBS: aquest sismòmetre marí va ser construït el 1989 a *L'institut de recherche pour le developpement (IRD)* de França amb la col·laboració de *University of Texas-Institute For Geophysics (UTIG)* dels Estats Units (Huerta et al. 2003). Es tracta d'un OBS de mida reduïda que constituït per una esfera de vidre de 43 cm de diàmetre on es situa tota l'electrònica, i una base metàl·lica de 1 m² que actua de pes per submergir l'equip fins al fons del mar. Disposa d'un geòfon triaxial amb tres acceleròmetres de freqüència natural 4.5 Hz amb autocorrecció de la inclinació (Gimbaled) que alhora es troba dins d'una esfera de vidre més petita, i un hidròfon per a la detecció de l'ona directa de l'aigua. L'instrument està equipat amb un sistema d'alliberament acústic amb un actuador electrolític. El conjunt del sistema funciona de manera que, en rebre l'ordre d'alliberament enviada per la unitat de telecomandament des de la superfície, l'electrònica de comunicació / alliberament aplica un corrent a un fil conductor que es trenca pel procés electrolític existent a causa del pas de corrent elèctrica pel conductor submergit en aigua salada. L'OBS utilitza l'hidròfon, també, com transductor acústic per a la comunicació amb la superfície. La ruptura del fil conductor desenganxa el mort de l'equip permetent la seva pujada cap a la superfície per la seva flotabilitat estructural. Aquest OBS està equipat amb sistemes de posicionament per ràdio freqüència (VHF) i sistema de llum intermitent per situar l'instrument en la superfície a la nit. L'equip té un pes total de 70 Kg incloent el mort i la seva profunditat màxima d'operació és de 6.700 m. La figura 2.8 mostra una imatge d'aquest sismòmetre marí.

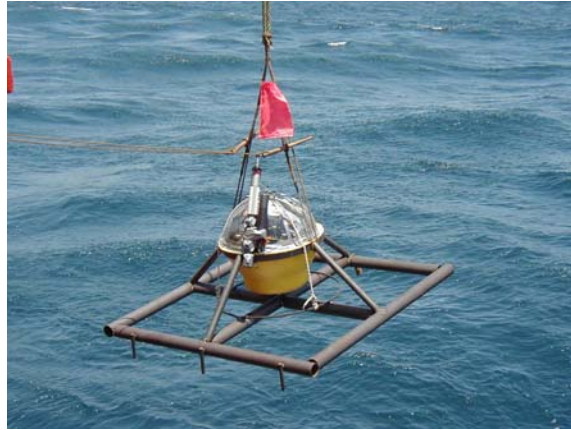


Figura 2.8: Sismòmetre marí IRD-UTIG

El sistema d'enregistrament i emmagatzematge de dades està basat en quatre canals de conversió ADC de 16 bits, tres per als components del geòfon triaxial i un per a l'hidròfon. Utilitza un processador 80C88 i un disc dur de 2.1 GB com a element d'emmagatzematge de dades. L'adquisició contínua es realitza de manera que el processador desa les dades en una memòria intermèdia (RAM: Random Access Memory), transferint-los al disc dur cada cert temps, interrompent l'adquisició durant aquesta transferència. La base de temps del sistema està compost per un vidre TCXO amb una estabilitat amb la variació de temperatura de 0,3 ppm (3×10^{-7}). El sistema de registre i emmagatzematge de dades utilitza bateries de liti com a font d'energia principal que proporciona una autonomia de 45 dies a l'instrument en adquisició contínua. La resolució d'aquest sistema està datada en 14 bits.

2.2.4 Hippocampe OBS: l'any 2005, l'IRD-Geoazur va construir un nou sismòmetre marí per poder acoblar geòfons de mida més gran per estudis sismològics, a més d'incrementar l'autonomia de l'equip fins a 6 mesos en adquisició contínua. Per augmentar l'autonomia de l'equip, s'ha utilitzat dues esferes de vidre de 43 cm de diàmetre, una dedicada exclusivament a la font energètica (bateries), i l'altra als electrònics, unides amb una estructura metàl·lica. A més s'ha utilitzat cadenes metàl·liques que serveixen com a àncora per submergir l'instrument fins al fons, unides a les dues esferes principals mitjançant una corda la qual

s'ha dimensionat prèviament la longitud. D'aquesta manera, un cop en el fons, les dues esferes principals suren mentre el mort reposa sobre ell, com es mostra en la figura següent. A causa de la interferència provocada per la vibració de la pròpia estructura de l'OBS amb el senyal útil provinent de les refraccions de la font activa, s'ha situat el geòfon a la part exterior de l'estructura. Aquest geòfon és un sensor de dimensions reduïdes amb autocorrecció de la inclinació (gimbaled), especialment dissenyat per a estudis de sismologia marina amb un ample de banda entre 0.008 i 100 Hz. El geòfon està subjecte a un braç horitzontal que deixa anar el sensor unes hores després de fondejar l'equip que s'acobla al fons marí una vegada l'instrument es troba allà (Hello et al 2006).



Figura 2.9: sismòmetre marí Hippocampe de IRD-Geoazur

Els problemes registrats amb el sistema d'alliberament electrolític en la versió anterior de l'OBS han portat al nou disseny a incorporar un sistema electromecànic (motor) per l'alliberament de l'àncora. Per la comunicació amb la superfície s'ha utilitzat un transductor acústic amb l'opció d'utilitzar l'hidròfon com a element de comunicació. La base de temps de l'instrument està compost per un mòdul TCXO Seascan amb una estabilitat amb la variació de temperatura de 20 ppb (2×10^{-8}). Com

el model anterior, aquest sismòmetre també està equipat amb sistemes de detecció per ràdio freqüència (VHF) i il·luminació.

El sistema d'adquisició de dades està basat en quatre canals de conversió ADC de 24 bits, un processador de 32 bits i un disc dur de 20 GB com a element d'emmagatzematge de dades. En aquesta versió, no hi ha interrupcions en l'adquisició quan es transfereixen les dades des de la memòria intermèdia al disc dur. Existeix la possibilitat de descarregar les dades sense haver d'obrir l'esfera principal a través d'un bus USB 2.0/Firewire, permetent la recol·locació de les estacions sísmiques i facilitant les operacions a alta mar. El consum energètic del sistema de registre i emmagatzematge de dades és de 500 mW aproximadament a una freqüència de mostreig de 200 sps, la qual cosa proporciona una autonomia de 6 a 12 mesos en adquisició contínua.

2.2.5 Ifremer MicroOBS: a principis del 2002, IFREMER va dur a terme un disseny totalment diferent al seu OBS anterior. MicroOBS és un sismòmetre de mida molt reduïda i de baix cost, que està dirigit a estudis de sísmica de refracció i no per sismologia. L'estructura principal de l'equip ve definida per una esfera de vidre de 33.02 cm de diàmetre on resideix el datalogger, bateries de liti per a l'alimentació, un geòfon triaxial, un sistema d'il·luminació interna i l'electrònica de comunicació / alliberament acústica. L'antena VHF, el transductor acústic de comunicació amb la superfície i el mecanisme d'alliberament electrolítica es troben en la part exterior de l'esfera. S'ha utilitzat una estructura de niló per a la protecció de l'esfera de vidre. El pes total del sismòmetre és de 10 kg i té una autonomia és de 10 dies en registre continu dels quatre canals d'entrada. El sistema de registre i emmagatzematge utilitza convertidors ADC de 24 bits, un processador de 32 bits i un vidre TCXO com a base de temps del sistema amb una estabilitat de temps amb variació de temperatura de 0,1 ppm (10^{-7}). La capacitat màxima d'emmagatzematge és de 1GB a base de targetes CompactFlash (Auffret et al. 2004). A la figura 2.10 es pot observar un esquema del MicroOBS:

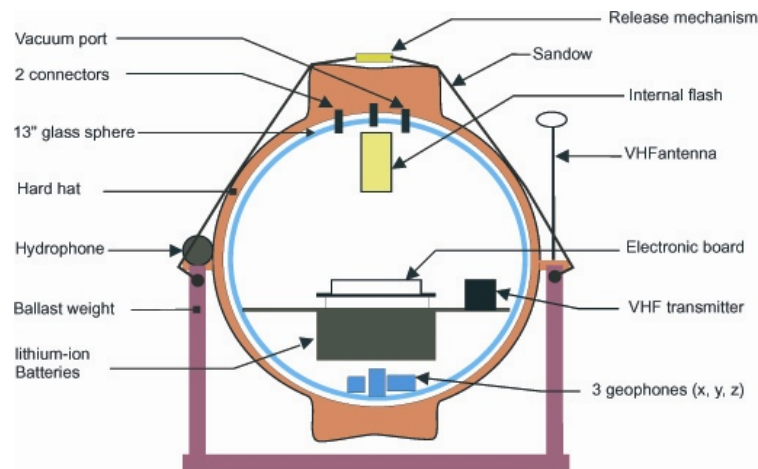


Figura 2.10: Esquema del MicrOBS de Ifremer

2.2.6 LC-2000: 78 d'aquests sismòmetres marins van ser construïts per *Scripps Institution of Oceanography* a Florida-USA l'any 2001. Aquest sismòmetre està destinat a l'ús en experiments de sísmica activa on s'utilitzen canons d'aire comprimit com a font de senyal. L'estructura principal està composta per un tub de pressió de titani on s'allotja l'electrònica de registre i emmagatzematge de dades i un mòdul de comunicació / alliberament amb un actuator electromecànic dins d'un altre tub de pressió. Aquest conjunt es situa dins d'una estructura de polietilè de protecció que es munta sobre una base metàl·lica que actua com a mort. A més, quatre esferes de vidre de 33.02 cm de diàmetre s'ajunten a la part superior per proporcionar flotabilitat a l'equip complet. El pes total del LC-2000 és de 124 kg. A la figura 2.11 es pot observar un esquema d'aquest sismòmetre:

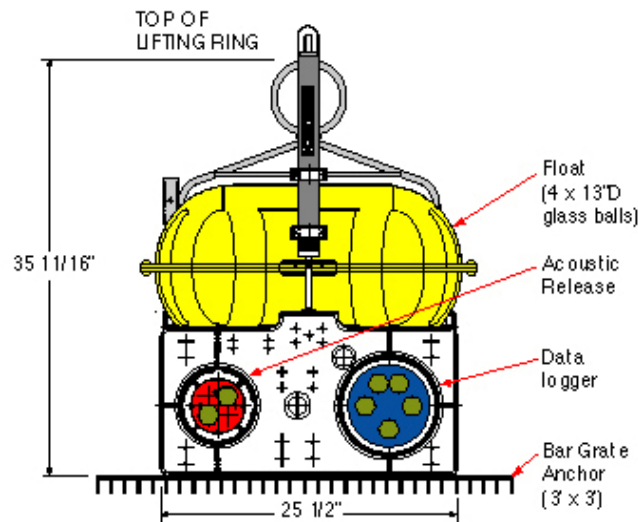


Figura 2.11: Esquema del sismòmetre marí LC-2000

Un geòfon triaxial amb freqüència natural a 2 Hz que es troba a l'interior de l'estructura del sismòmetre, per a la detecció de les refraccions de la font activa i un hidròfon a l'exterior de l'esfera per a la detecció de les seves reflexions, componen els quatre canals analògics d'entrada. S'usen sistemes de detecció VHF i llum intermitent per al posicionament de l'instrument a la superfície. El sistema de registre i emmagatzematge està format per quatre canals de conversió ADC de 24 bits, un processador de 32 bits i un disc dur de 18 GB. Un mòdul TCXO *Seascan* proporciona la base de temps del sistema amb una estabilitat de 0,05 ppm (5×10^{-8}). Bateria de ló-liti proporcionen alimentació al sistema que amb un consum de 540 mW a una freqüència de mostreig de 250 sps en adquisició contínua, defineixen una autonomia de 4 mesos per a l'instrument.

2.3 Característiques més rellevants del prototip SARTI-UPC de sismòmetre marí. OBS

L'any 1996, mitjançant un projecte nacional de transferència de tecnologia (REF: INP96-0158), la universitat de Cambridge juntament amb Carrack Measurement Technology va desenvolupar el primer sismòmetre marí de profunditat per a la comunitat científica espanyola. El MiniDOBS (Mini-Digital Ocean Bottom Seismometer) es pot veure en la figura 2.12

El MiniDOBS ha estat pres com a base per a l'OBS desenvolupat pel grup SARTI (Sistemes d'Adquisició Remota i Tractament d'Informació) de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) amb la col·laboració de la UTM (Unitat de Tecnologia Marina) a través del projecte del Pla Nacional Transmissió de Senyal en Sensors Autònoms Lleugers (Sigsensual: REN2003-08341-C03-01). El grup de recerca SARTI s'ha centrat en el desenvolupament de nous sistemes d'adquisició de dades. Deriva de rellotge, autonomia de l'equip, millora de la relació de senyal / soroll, etc. Però el disseny de l'estructura externa ha sofert pocs canvis respecte el MiniDOBS.

L'OBS construït és un equip que es disposa mitjançant caiguda lliure en el llit marí fins a una profunditat de 6.700 m i és capaç de captar les vibracions del fons del mar, tant del sòl com de l'aigua. El seu mode de funcionament és autònom respecte al vaixell des d'on es llença o es recupera. En acabar l'experiment, l'embarcació amb la qual es recupera l'instrument ha d'enviar un senyal acústic a l'equip mitjançant una unitat de telecomandament especial, per activar l'alliberador mecànic que deixa anar el mort al qual està unit. L'alliberament del pes fa possible l'ascens de l'equip cap a la superfície a causa de la seva pròpia flotabilitat estructural.

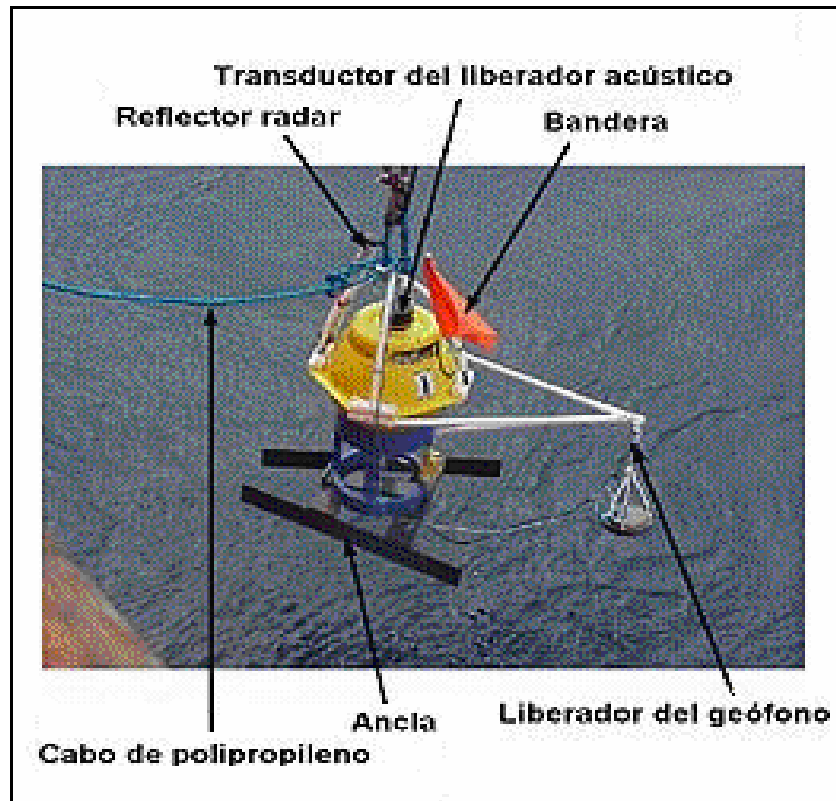


Figura 2.12 Sismòmetre MiniDOBS.

L'equip està format per una esfera (que conté l'electrònica d'adquisició de dades), per uns sensors (els quals, pengen d'un braç unit a l'esfera) i per una àncora que canvia el grau de flotabilitat i d'aquesta manera es pot submergir en l'aigua.

Una vegada a l'aigua, degut al pes addicional de l'àncora, l'equip es submergeix i descendeix al fons marí. Aproximadament 2 hores després del llançament, el geòfon es despenja del braç que el sosté. Fins que es disposa en el sòl.

En aquest moment els sensors comencen a estar operatius i poden registrar i captar les vibracions del subsòl. La senyal que van lliurant els sensors, és amplificada i digitalitzada. La senyal digitalitzada s'emmagatzema a la memòria, bolcant periòdicament el seu contingut a un disc dur. Actualment s'emmagatzema la informació en dispositius més petits, de major capacitat i amb menys problemes de soroll com són les targetes Compact Flash de 4 a 64 Gbytes

Quan es vol recuperar l'instrument del fons marí, se li envia des del vaixell de llançament, un senyal acústic codificada que al ser rebuda per l'instrument s'activa un alliberador mecànic que deixa anar l'àncora, i l'equip donada la seva flotabilitat positiva, ascendeix a la superfície on és recollit.

Un cop recuperat l'equip del fons marí, les dades condicionades i que aquest ha emmagatzemat en format digital són tractades informàticament, permetent obtenir informació per l'estudi de la reconstitució geològica del fons marí.

2.3.1 Components de l'OBS

2.3.1.1 **Esfera** (Formada per dues semiesferes tancades al buit).

Composició Esferes: Vidre tipus Benthos 2040-17V de 17 "(432mm. de diàmetre exterior i 404mm. De diàmetre interior).

Fondària Màxima Esferes: 6000 metres.

Ports i Connectors: 1 port per crear el buit i 5 connectors marins.

Pes: 17,7 kg.

Flotabilitat en buit:25,4 kg.

Comentari: A l'interior de l'esfera es troba la part electrònica d'adquisició, alliberament de l'equip, emmagatzematge de dades i bateries que alimenten els circuits electrònics.



Figura 2.13 MiniDOBS seismometer

2.3.1.1.1 Electrònica d' adquisició de dades (*Interior Esfera*):

- Placa ADC (conversor analògic/ digital) de 24 bits.

Funcionament: Captura de dades pre-amplificades que recullen els hidròfons i el geòfon i pas a format digital.

Composició: 4 canals un per a l'hidròfon i els altres 3 per al geòfon.

Captura de Mostres: 128 o 256 mostres per segon amb els quatre canals actius i inclús més si només utilitzem el canal de l'hidròfon.

Rang dinàmic teòric: 144dB.

Relació Senyal Soroll (S / N): 130dB.

- Placa CPU.

Funcionament: Un processador Motorola M68332 de 32 bits, processa les dades que li arriben de la placa ADC per un port sèrie QSPI. Pot funcionar entre 2 i 16 MHz. depenent de les dades que hagi de processar.

- Placa memoria RAM. (En el nou disseny ja ha estat substituïda)

Funcionament: Emmagatzematge de dades processades abans de ser bolcades al disc dur.

És possible treballar entre 1Mbit i 4Mbit de memòria. El temps que triga a omplir-se depèn del nombre de canals que estiguin actius i de l'amplitud del a senyal captada. En els experiments que s'han realitzat sol estar entorn 1 hora.

- Disc SCSI. ((En el nou disseny ja ha estat substituïda)

Composició: Utilització de fins a quatre discs, encara que només s'acostuma a utilitzar-ne un. Els que s'usen habitualment són de 2,1Gbits.

Funcionament: Cada vegada que s'omple la memòria es bolquen les dades al disc dur. Aquestes dades estan gravades en un format comprimit que després es pot visualitzar amb el programa DATADISP.EXE. Les dades que es graven en el disc dur poden ser traspassades a un altre mitjà d'emmagatzematge amb una targeta SCSI.

- Relotge intern.

Funcionament: Tota l'electrònica d'adquisició està sincronitzada amb un rellotge intern molt estable (Cristall TCXO). Aquest rellotge es sincronitza externament amb un GPS. D'aquesta manera permet tenir una precisió de 10ms.

- Font d'alimentació.

Funcionament: Tota l'electrònica d'adquisició necessita d'una placa font d'alimentació per mantenir els circuits funcionant.

Reparteix tensions de 36V, 12V, 9V, 5V i 4,5 V subministrades per les diferents bateries que hi ha en l'esfera.

- Bateria. (ja han estat substituïdes per un pack ló-liti)

Composició i Funcionament: Permeten que l'equip pugui estar fins a 10 dies recollint dades del fons del mar.

Les bateries que subministren energia als circuits d'adquisició son les següents:

- 24 bateries alcalines tipus D de 1,5V en sèrie (36V nominals) per alimentar la CPU.
- 2 grups de 6 bateries alcalines tipus D de 1,5V en sèrie (9V nominals) para alimentar el ADC.
- 1 bateria recarregable de 12V de Ni-Cd per alimentar l'arrencada del disc dur.
- 1 grup de 3 bateries alcalines tipus D de 1.5V en sèrie (4,5V nominals) com a bateries de backup del rellotge.

- Pantalla LCD. (ja ha estat substituïda per indicadors led)

Funcionament: Mostra l'hora actual de l'equip, una mitjana de l'amplitud de les dades captades i el nombre de bits que es rebutgen per cada mostra. També ens informa del percentatge de memòria completat amb dades. Al costat dret disposa d'un interruptor magnètic que permet fer un reset de l'equip quan està funcionant.

Per últim conté un sensor de llum que fa que la pantalla s'apagui si el nivell de llum exterior no supera un mínim.

2.3.1.1.2 **Electrònica de l'alliberador acústic** (*Interior Esfera*):

Electrònica que activa els dos circuits de l'alliberador electroquímic i manté la comunicació amb la unitat de coberta de l'alliberador acústic.

Està situada a la part superior de la semiesfera superior i consta dels següents components:

- Memòria EPROM.

Funcionament: On es programen les freqüències i codis que utilitzarà l'instrument per alliberar-se.

- Bateria.

Funcionament: Les bateries que subministren energia a l'electrònica del alliberador acústic són les següents:

- 1 grup de 10 bateries de sulfat de Liti de 3V en sèrie (30V nominals), que alimenten l'electrònica de l'alliberador acústic. Aquestes bateries permeten que aquests circuits tinguin alimentació durant un any.
- 1 grup de 4 bateries de sulfat de Liti de 3V en sèrie (12V nominals), que alimenten el primer circuit d'alliberament (alliberador acústic 1) i una llum que s'encén quan s'allibera l'instrument, per facilitar la recerca del mateix.
- 1 bateria alcalina PP de 9,5 V, que alimenta l'alliberador acústic 2.

En el circuit alternatiu que s'empra per a alliberar l'instrument, no disposa de llum.

2.3.1.2 **Estructura de polietilè de color groc** (protegeix l'esfera).

Composició: Xassís que porta incorporat un transductor per comunicar-se amb l'alliberador acústic de la unitat situada al vaixell, unes extensions laterals que sostenen el geòfon i dues nanses de niló a la part superior que serveixen per desplegar l'equip.

Forma: L'estructura és de forma octogonal i està formada per dues meitats que es cargolen amb espàrrecs i femelles de niló.

Part superior: Diverses finestres (accessos a l'equip) que faciliten la connexió del transductor de l'alliberador acústic i la visualització exterior de la pantalla LCD que indica certs paràmetres d'adquisició.

Part Inferior: Cavitat pel qual es connecten els cables d'hidròfon, geòfon i de comunicacions entre un PC i l'equip. Aquesta part de l'estructura està unida a la base de niló blava.

2.3.1.3 **Base de niló de color blau**

(fixada amb cargols a la part inferior de l'estructura de polietilè).

Característiques: És la part que està en contacte amb l'àncora, té unes dents a la part inferior per tal que s'ajusti perfectament a la forma de l'àncora.

2.3.1.4 **Part superior de la base:** Hi ha una barra metàl·lica cargolada de la qual penja l'alliberador mecànic. Un dels braços que sostenen el geòfon està fixat en un dels costats de la base.

En una de les potes es sol subjectar l'hidròfon.

2.3.1.5 **Transductor Marine Acoustics.**

Funcionament: Comunicació amb l'alliberador acústic de la unitat de coberta. Dispositiu que utilitza un parell de freqüències a recepció (9,5 kHz. i 10,5 kHz.) i una freqüència per a transmissió de dades (8 kHz.).

Aquest transductor respon a les ordres d'activació de l'alliberador acústic 1, activació del alliberador acústic 2, distància, reset i activació de finestra per alliberar l'instrument.

Disposició: Situat a la part superior de l'estructura de polietilè que recobreix l'esfera (fixat amb una brida metàl·lica).

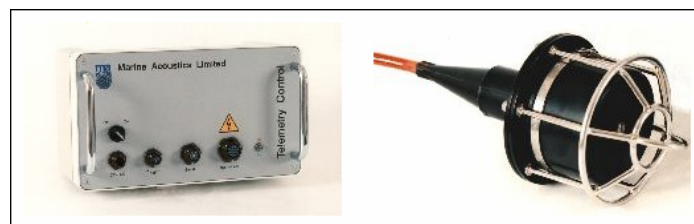


Figura 2.14 Alliberador acústic de la unitat de superfície i transductor d'ones acústiques.

2.3.1.6 **Bandera.**

Disposició: Situada a les nanses de desplegat de l'equip.

Funcionament: Incloua per millora de la localització visual de l'objecte dins de l'aigua, en el moment de la seva recuperació.

2.3.1.7 **Reflector de radar.**

Disposició: Placa metàl·lica situada, igual que la bandera, en les nanses de la part superior de l'equip.

Funcionament: Inclòs perquè els radars detectin l'equip quan aquest vol ser recuperat.

2.3.1.8 **Alliberador electroquímic.**

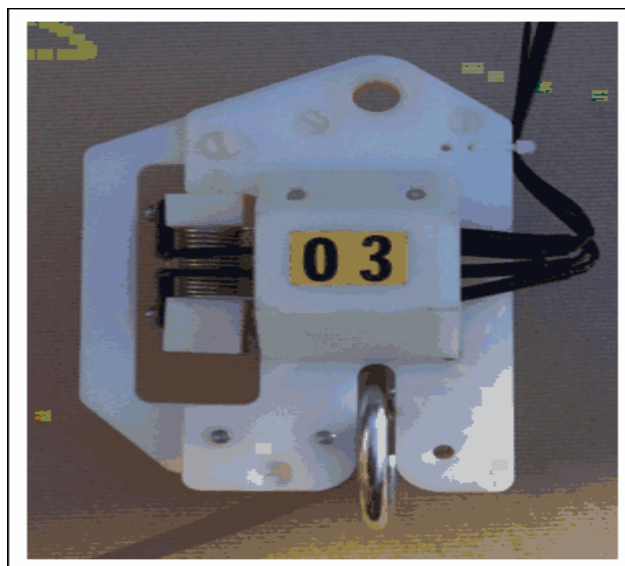


Figura 2.15 alliberador electroquímic

Composició: Estructura de niló i polipropilè que allotja un filament que cal desfer electrolíticament i una palanca que allibera una anella (unida a l'àncora).

Disposició: Penjat d'una barra metàl·lica que està en la unió entre l'estructura de polietilè groga i la base de niló blava.

Funcionament: Encarregat d'alliberar l'equip de l'àncora quan se li envia l'ordre adequada. Comentar que hi ha dos circuits elèctrics en cada alliberador com a dispositiu de seguretat.

Pes Màxim Suportat: 250 kg.

El sistema d'alliberament és un dels punts febles d'aquesta versió de OBS, el sistema funciona que quan des del vaixell es dona l'ordre corresponent mitjançant el transductor acústic i aquest la passa a l'electrònica encarregada de gestionar l'alliberar electroquímico, llavors en aquest l'hi comença a arribar corrent la qual mitjançant l'electròlisi anirà fonent els fils (entre 20 i 30 minuts) i una vegada fosos, una molla farà saltar l'anella que l'uneix amb el mort i el cos començarà a ascendir.

Aquest sistema, per això és una mica lent i poc segur, ja que l'ordre que es dona no s'executa automàticament, i a part que es necessita un part d'energia per a "fondre" el filaments, que es podria utilitzar per a mantenir l'equip més temps al fons del mar.

2.3.1.9 **Braços per a sostenir el geòfon.**

Disposició: Dos d'ells es cargolen a la unió entre les dues meitats de l'estructura de polietilè groga. El tercer està cargolat a un dels costats de la base blava.

Funcionament: Posicionar el geòfon allunyat de l'estructura principal de l'OBS en uns 700mm. i així aïllar les dades que captura el geòfon de les vibracions que pugui generar l'instrument.

2.3.1.10 **Geòfon, SM-6 de 3 components.**

Components: Una vertical i dues horitzontals. Els sensors SM-6 estan protegits per una estructura d'Alumini.

Funcionament: Serveix per obtenir dades de les vibracions del sòl marí i quan es desplega l'instrument, el geòfon està unit als braços per un trípode de niló i l'alliberador del geòfon. Quan l'instrument arriba al sòl, el geòfon triga entre 2 i 4 hores en desprendre's dels braços i assolir el contacte amb el llit marí. El geòfon envia les dades a l'esfera mitjançant un cable que es connecta a la part inferior d'aquesta.

Freqüència de tall: Per cada component del geòfon és de 4,5 Hz.

Sensibilitat: 28 V / m / s.

Distorsió: Inferior a un 0,3%.

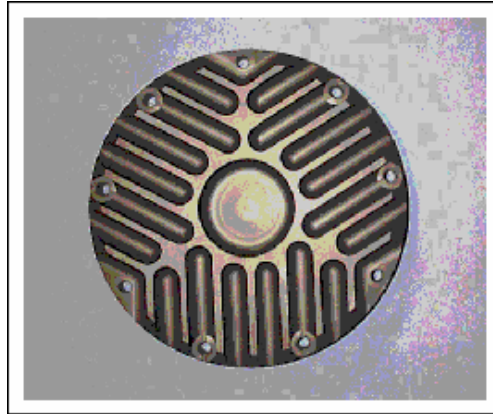


Figura 2.16 Base del Geòfon.

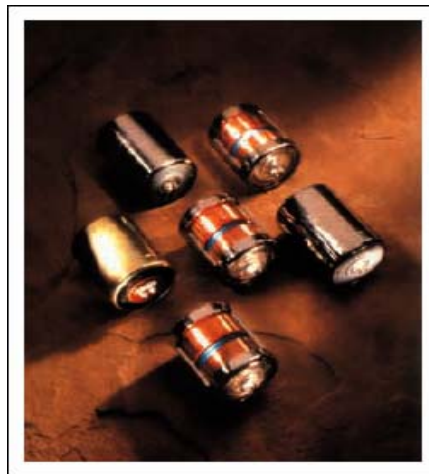


Figura 2.17 Geòfons SM-6.

2.3.1.11 **Alliberador del geòfon.**

Composició: Format per una bateria de Liti TCL i una resistència, que fan possible que es desfaci un filament que està lligat a l'extrem dels braços del geòfon. Sistema segellat amb resina i adhesiu segellant.

Funcionament: El despreniment del geòfon es produeix entre 2 i 4 hores després del llançament de l'OBS, això fa possible que els cables del geòfon no quedin atrapats sota l'àncora, ja que el geòfon es desprèn després que l'àncora s'hagi posat a terra.

2.3.1.12 **Hidròfon.**

Composició: Forma cilíndrica i es connecta al sistema d'adquisició de dades mitjançant un connector marí que hi ha en l'esfera inferior.

Funcionament: Captació de les vibracions de l'aigua. Es sol subjectar a una de les potes de la base de niló, es posa una esponja entre la pota de subjecció i l'hidròfon, per aïllar la senyal captada dels moviments de l'estructura de l'OBS.

2.3.1.13 **Àncora.**

Pes: 35 kg.

Composició: Té forma de trineu per compensar el pes del geòfon i els seus braços, i el descens de l'OBS al mar serà estable.

Funcionament: Serveix per fondejar l'equip. Quan s'activa l'alliberador mecànic des del vaixell, l'equip s'allibera d'ella i l'OBS comença a ascendir.

Els components del 'MiniDOBS Seismometer' esmentats amb anterioritat, estan patint constantment millores. Sobretot com ja es comentava, a nivell d'emmagatzematge de dades i el disseny electrònic és on s'està fent un major esforç. Però donada l'alta probabilitat de no recuperar els equips llançats, i la necessitat d'afegir flotabilitat auxiliar a l'equip amb les corresponents dificultats en la manipulació del mateix, fan necessari plantejar algunes modificacions en l'estructura mecànica.

2.3.2 **Problemàtica en la recuperació dels equips**

En les diferents campanyes oceanogràfiques realitzades, s'ha comprovat que el sistema d'alliberament electroquímic té alguns inconvenients. Les característiques del subsòl poden provocar que quedi enfonsat dificultant la reacció electroquímica, o la baixa salinitat del aigua freni la velocitat de la reacció amb la conseqüent pèrdua d'equips, ja que si finalment surten a superfície, els vaixells de recollida poden haver marxat ja fa hores o fins i tot dies.

Així mateix, l'estructura mecànica del mort que cal afegir per tenir flotabilitat inversa té alguns inconvenients.

Com que el mort està solidari a l'equip, provoca que quan arriba al fons marí aquest impacti directament contra el terra. Aquest fet, tenint en compte que la baixada de l'equip es fa a, aproximadament, una velocitat d' 1m/s, no és el millor per a un equip que porta electrònica en el seu interior i que l'impacte podia provocar que fallés.

Un altre dels inconvenients de portar el patí solidari amb el cos, és la seva estabilitat en el fons marí. L'equip està pensat per a treballar perpendicular al sòl marí respecte la seva vertical. En el cas de que la zona on l'equip quedi situat tingui certes pendents, roques o qualsevol altre pertorbació, podia passar que l'equip no treballés de la manera correcta (inclinat) o que fins i tot arribés a bolcar i dificultar la seva recuperació.

2.3.3 Conclusions

Degut a les problemàtiques comentades en el punt anterior i per tal de solucionar-les, o si més no, augmentar la fiabilitat del sistema, es proposarà en el capítol següent:

- Modificació de l'actuador d'alliberament, passant d'un tipus electrolític a un de tipus electromecànic.
- Modificació del sistema de àncora/mort que no provoqui impacte amb el fons marí ni condicioni la seva estabilitat independentment de la zona que es vulgui estudiar.

3 Millores efectuades al miniDOBS

3.1. Sistema de recuperació en superfície (antena i llum)

Per tal de fer més visible l'equip en superfície ha estat incorporat a banda de la bandera i del reflector radar de l'equip original (miniDOBS), una llum intermitent de xeno model ST-400AR (figura 3.1) i una antena de radiofreqüència VHF model RF-700AR (figura 3.2) de Novatech Designs Ltd.



Figura 3.1: Sistema d'il·luminació xenó



Figura 3.2: Sistema de transmissió VHF

Tots dos equips disposen d'un sensor de pressió que desabilita els equips a partir de que descendeixen a més de 10m de profunditat, per així estalviar energia. Així doncs aquests equips només es posen en marxa a la superfície.

Un receptor VHF, model DF-500 de Novatech Designs Ltd, en el vaixell permet detectar la direcció des d'on emet el sismòmetre, facilitant així les feines de recuperació de l'equip en condicions de mala mar.

3.2. Actuador electromecànic

Per tal de fer les modificacions del sistema d'alliberament primer es va buscar un alliberador electromecànic que pogués treballar a 6000m de profunditat i que les dimensions no fossin excessivament grans.

Es va trobar un actuador electromecànic que complia els nostres requisits que és el "Deep Sea Release Unit" de l'empresa Guralp Systems (figura 3.3).

Aquest sistema a diferència de l'antic sistema electrolític permet incorporar un element d'alliberació en paral·lel, el qual defineix redundància en la recuperació.



Figura 3.3: Alliberador electromecànic

L'elecció d'aquest actuator, ha comportat també, la modificació del transductor acústic i de l'electrònica de comunicacions. El model de transductor acústic utilitzat és el PET661E de la casa IXSEA. El transductor es troba situat en la part superior de la carcassa. Una vegada rep el senyal, el mòdul d'alliberació que està ubicat dins de l'esfera de vidre, reconeix l'ordre i actua sobre l'alliberador electromecànic que uneix el sismòmetre al mort, aplicant una corrent per a girar el motor interior. L'electrònica d'alliberació utilitzada és AR-3X1-V3 d' IXSEA que substitueix la versió de Marine Acoustics integrada en el miniDOBS, pels problemes de comunicació / alliberació que havia provocat durant els anys, fent que es perdessin molts equips en diverses campanyes.

3.3. Constitució del nou sistema de llastrat

El nou sistema de llastrat estarà constituït per una peça d'acer de tipus cilíndric que estarà unida a l'equip mitjançant una corda. Caldrà doncs, definir el pes del llastrat i la longitud mínima de la corda per a que l'equip no impacti contra el fons marí.

3.3.1. Consideracions prèvies

El primer que s'ha fet és calcular els pesos de tots els elements, ja sigui de manera empírica dels elements ja existents o teòricament a partir de característiques de fabricant o per les seves dimensions i materials. Tots ells es mostren a la taula 3.1 i les abreviacions referents al material a la taula 3.2.

Nom	Material	Densitat teòrica (kg/m ³)	Massa (kg)
La Base Blava	PA	1090-1140	3.9
L'Hidròfon	EP	1110-1800	0.31
L'Esfera	Borosilicat Vidre	2230	17.14
La Carcassa	HDPE	935-965	1.43
El Braç	PA	1090-1140	0.65
El Geòfon	Alumini 3005-H18	2670	2.7
El Transductor + brida	(diversitat)	-	1.75
Les Nanses	PA	1090-1140	0.48
L'Esfera del flotador	Borosilicat Vidre	2230	8.5
Carcassa del flotador	HDPE	935-965	1.25
Alliberador	Diversitat	-	2.56
Corda d'unió OBS-flotador	Fibra	1450	2.3
Total en buit =			42.97

Taula 3.1. Taula resum de la densitat i massa dels diferents components del miniDOBS estudiat.

PA	Poliamides (Niló)
EP	Resina epoxi
HDPE	High Density Polyethylene

Taula 3.2. Denominació d'abreviatures

El pes de l'OBS en ordre de treball sense contar el pes del mort és aproximadament 43 kg

3.3.1.1. Equació de govern.

La dependència de la velocitat de caiguda/pujada (u) del OBS amb la profunditat z ve donada per ($z > 0$ cap avall)

$$(M_{OBS} - \rho_w V_{OBS})g - \frac{1}{2} \rho_w A_e C_D u^2 = M_{OBS} \frac{du}{dt} \quad [3.1]$$

On:

M_{OBS} = Massa del OBS (kg)
 ρ_w = densitat de l'aigua del mar (kg/m³)
 V_{OBS} = Volum total desplaçat pel material (m³)
 g = gravetat (m/s²)
 u_{lim} = Velocitat límit del conjunt (m/s)
 A_e = Area eficaç de fricció (m²)
 C_D = coeficient de fricció (adimensional)

La viscositat cinemàtica i la densitat de l'aigua marina en funció de la temperatura del fluid es presenten a la taula (3.3)

Temperatura (°C)	Viscositat cinemàtica ν (m ² /s)	Salinitat 35% ρ (kg/m ³)
5	1.61×10^{-6}	1027.70
10	1.4×10^{-6}	1026.97
15	1.22×10^{-6}	1025.99
20	1.08×10^{-6}	1024.78

Taula 3.3 Temperatura – Viscositat - Salinitat

C_D el coeficient de fricció, es coneix que per a nombres de Reynolds alts i baixos es comporta com:

$$C_D = \begin{cases} \propto 1/u & \text{Re} \ll 1 \\ \approx cte & \text{Re} \gg 1 \end{cases}$$

3.3.1.2. Tipus de règim.

Primerament s'ha d'estimar el número de Reynolds del problema.

$$Re = \frac{\rho_w u_{lim} L'}{\mu_w} = \frac{u_{lim} L'}{\nu}$$

On:

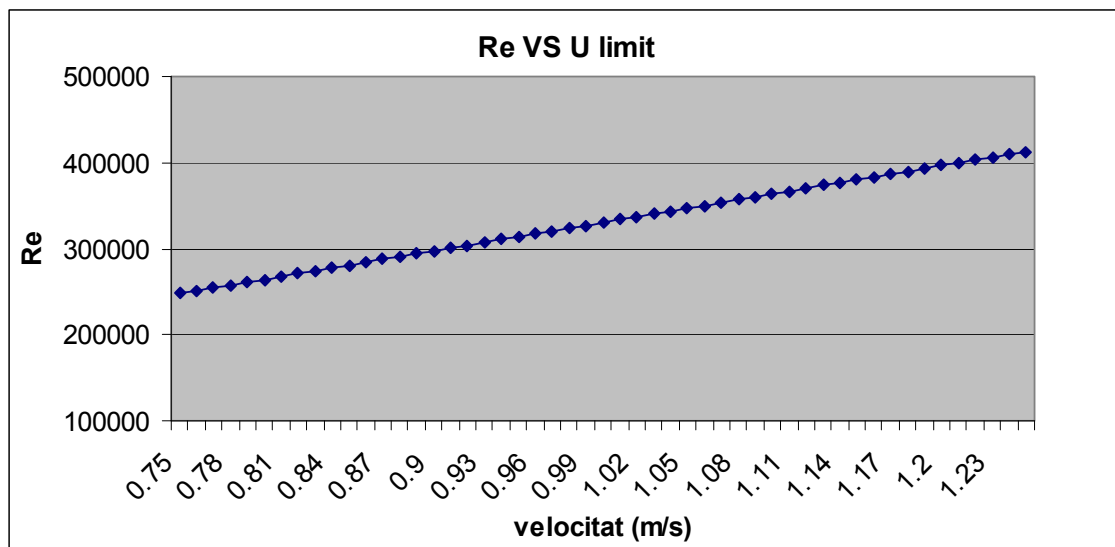
u_{lim} = Velocitat límit del conjunt (m/s²)
 ν = Viscositat cinemàtica (m²/s)
 L' = Longitud del cos paral·lela al corrent d'aigua (m)

ν (m ² /s)	L' (m)
$1.4 \cdot 10^{-6}$	0.46

Taula 3.4 valors utilitzats per el càlcul de Re

Segons el valor del nombre de Reynolds, el flux extern es classifica com flux a Reynolds baixos ($Re < 5$ aproximadament) – Laminar – i flux a Reynolds elevats ($Re > 10^3$) – Turbulent –.

Tenint en compte que la velocitat de l'OBS, segons prerequisits i experiències previes ha d'oscil·lar entre 0.75 i 1.25 m/s, tenim:



Gràfica 3.1 Número de Reynolds dependent de la velocitat límit

D'aquí obtenim uns valors de :

Re max	$4,13 \cdot 10^5$
Re min	$2,48 \cdot 10^5$
Re mitjà	$3,30 \cdot 10^5$

Taula 3.5 Reynolds obtinguts

Per tant estarem en règim TURBULENT en els tres casos i assumirem un valor mig de Re de $3,30 \cdot 10^5$ per als propers càlculs.

A partir d'aquests valors de Re, podem començar a calcular el valor del coeficient de fricció del sistema front la baixada i la pujada.

Segons l'equació (1) podem establir que el valor del C_D ve donat per l'expressió:

$$C_D = \frac{2(M_{OBS} - \rho_w V_{OBS})g}{\rho_w A_e u_{lim}^2}$$

- Càlcul de la velocitat de caiguda límit. A partir de (1) tenim:

$$(M_{OBS} - \rho_w V_{OBS})g - \frac{1}{2} \rho_w A_e C_D u_{lim}^2 = 0 \Rightarrow u_{lim} = \sqrt{\frac{2(M_{OBS} - \rho_w V_{OBS})}{\rho_w A_e C_D}} \quad (2)$$

Aquesta expressió és absolutament general i val per a qualsevol geometria. Pel cas particular d'una esfera l'àrea eficaç val $A_e = \pi r^2$ i (2) es redueix a l'expressió:

$$u_{lim} = \sqrt{\frac{8\Delta\rho \cdot r}{3\rho_w C_D}}$$

3.3.1.3. Estimació del coeficient de fricció.

El problema que ens trobem és que en les equacions (1) i (2) no sabem quin valor té el coeficient de fricció de l'OBS (depèn molt de la geometria i, a Reynolds alts, molt poc de la velocitat). Per a tenir una idea aproximada del valor, assumim la hipòtesi de que el volum de l'OBS és el de una esfera de $d = 45$ cm ($V_{OBS} = 4.7 \cdot 10^{-2} m^3$). Per altra banda sabem que per a l'OBS actual la massa total (amb el mort) és aproximadament $M_{OBS} = 70$ kg i la velocitat de caiguda límit val $u_{lim} = 1$ m/s. Llavors a partir de (2):

$$C_D = \frac{2(M_{OBS} - \rho_w V_{OBS})}{\rho_w A_e u_{lim}^2} = 2.52 \quad (3)$$

3.3.2. Pes del mort M_w

Tenint en compte que la part cilíndrica de l'OBS està oberta, podem considerar a efectes del càlcul que l'empenta que el volum de l'OBS és el d'una esfera de diàmetre $d=45$ cm ($V_{OBS} = 0.047\text{m}^3$). L'efecte dels altres components (geòfon, cilindre, etc) sobre l'empenta és de segon ordre. El pes mínim de l'OBS per a obtenir flotabilitat negativa considerant una densitat de l'aigua del mar de $\rho_w = 1026.97$ kg/m³ és:

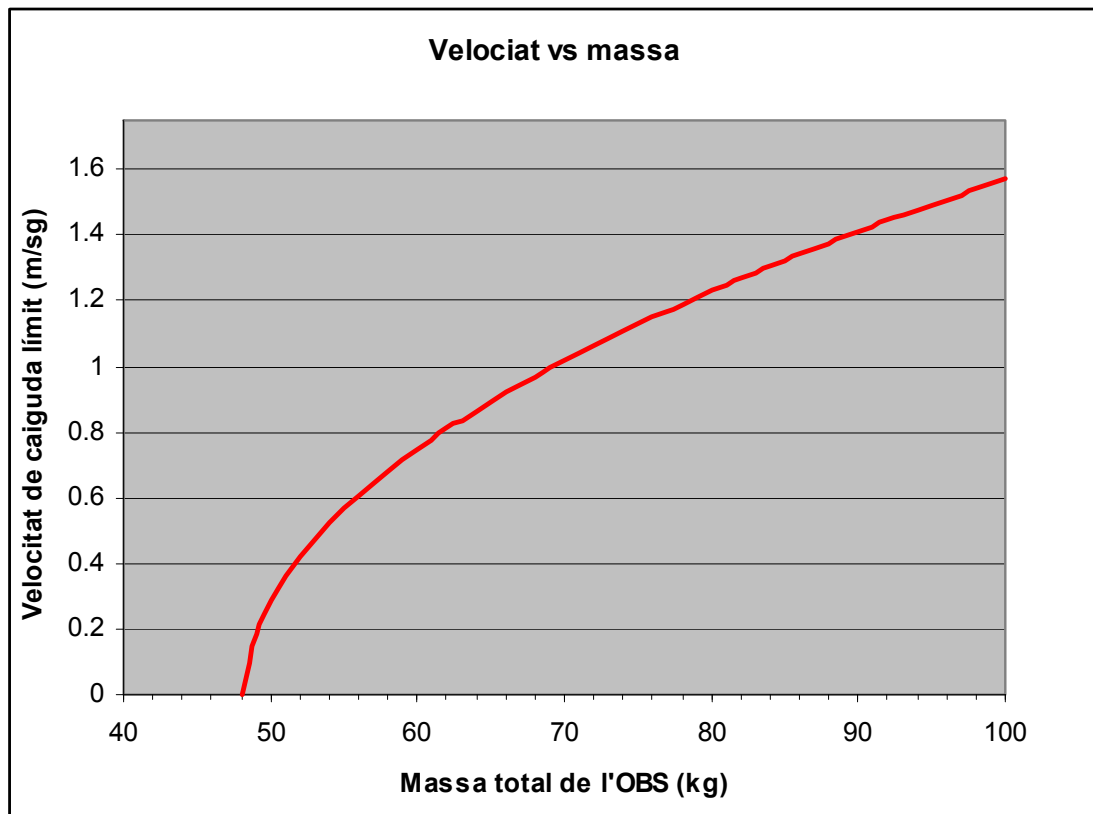
$$M_{OBS}^{min} = \rho_w V_{OBS} \approx 49\text{kg}$$

Podem veure com varia la velocitat de caiguda / pujada en funció del pes total de l'OBS amb i sense mort. Tindrem que:

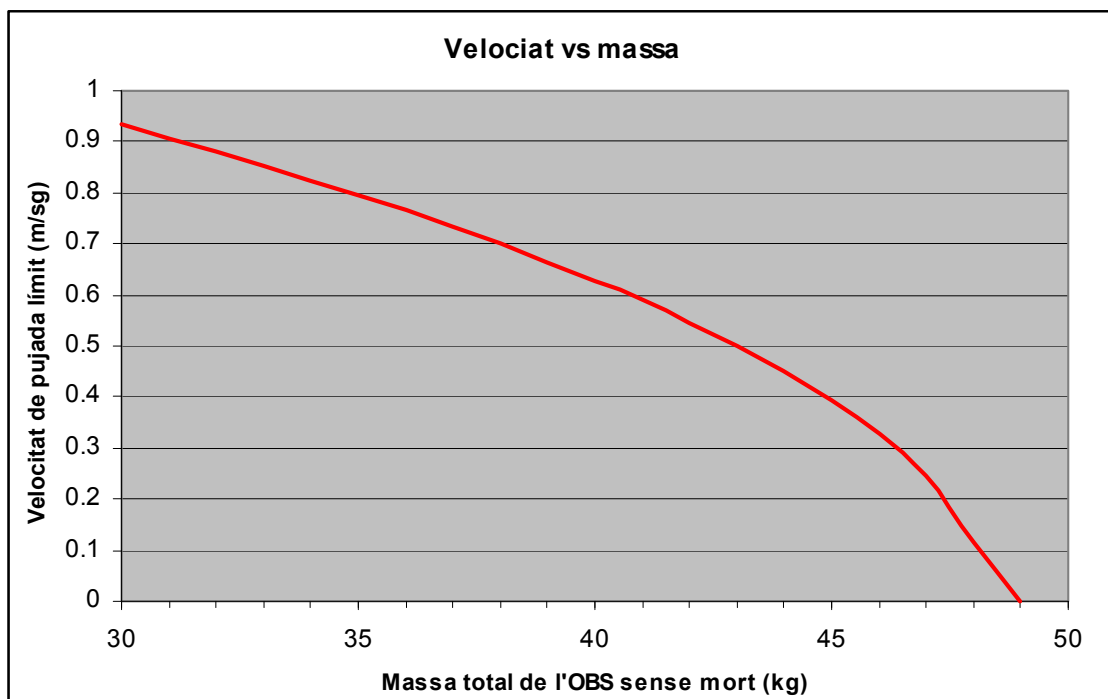
$$M_{OBS} = M_O + M_w \quad \text{Baixada}$$

$$M_{OBS} = M_O \quad \text{Pujada}$$

On M_O és el pes de l'OBS sense mort (uns 43kg) i M_w és el pes del mort. El següent pas és saber com les modificacions en la geometria afectaran al coeficient de fricció. Assumint un valor semblant a l'actual podem dibuixar (2) per a les velocitats límit de baixada (gràfica 3.2) i de pujada (gràfica 3.3) en funció de la massa.



Gràfica 3.2 Velocitat de caiguda límit en funció de la massa



Gràfica 3.3 Velocitat de pujada límit en funció de la massa

- Conclusió. El pes sense mort ha de ser inferior a 49kg per assegurar que l'OBS pujarà una vegada s'hagi alliberat el mort. Per a garantir una bona

velocitat de pujada en les capes amb inversió, és convenient tenir valors inferiors a $M_o = 40 \div 43\text{kg}$.

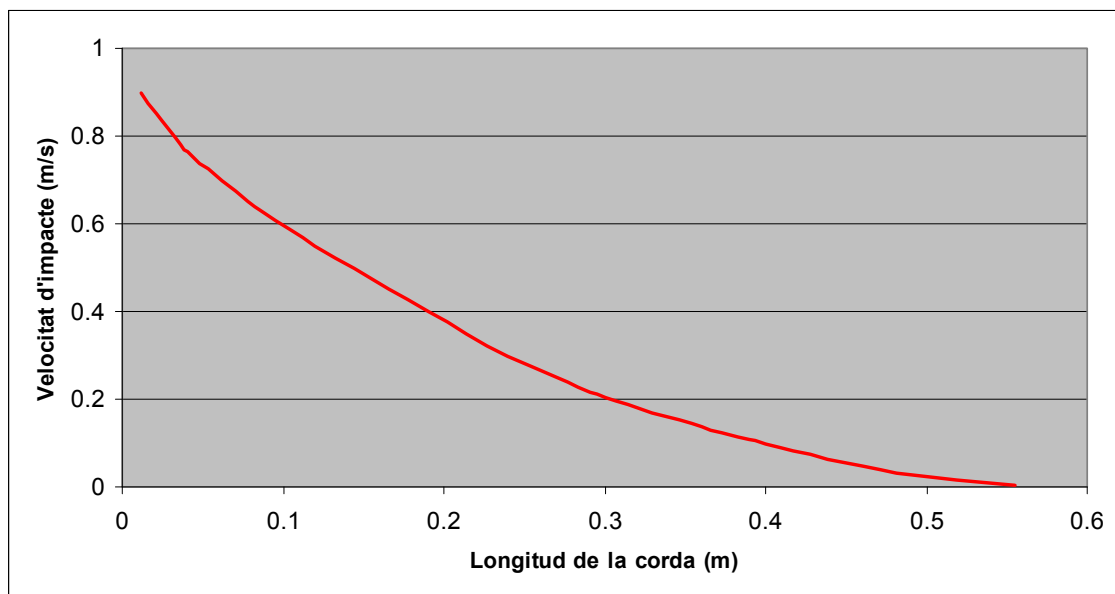
En la baixada un bon compromís entre garantir el pes i tenir una velocitat d'impacte moderada (inferior o de l'ordre d' 1m/s) s'aconsegueix amb un pes total de l'OBS $M_{OBS} = 70 \div 75\text{kg}$.

Per tant el pes a afegir serà $M_w = 30 \div 35\text{ kg}$ (assumint $M_o = 43\text{kg}$).

3.3.3. Longitud de la corda

- Ara anem a trobar la longitud de la corda del mort tal que la velocitat d'impacte amb el fons marí, sigui moderada (nul·la). Per a trobar-la resoldrem (1) considerant una velocitat en l'instant inicial (ara es el moment d'impacte del mort contra el fons marí) igual a la velocitat de caiguda límit i una massa del OBS igual a $M_o = 43\text{kg}$ donat que el mort ja està en contacte amb el fons marí.

Tenim que:



Gràfica 3.4 Velocitat d'impacte amb el fons depenent de la longitud de la corda

- Conclusió

En un escenari ideal $L = 55$ cm de corda haurien de ser suficients per a que l'equip no impactés contra el terra. Ara bé aplicant un marge de seguretat els valors serien $L = 80 - 100$ cm.

3.4. Proves de camp.

Una vegada fet l'estudi analític per a determinar la longitud de la corda, es van fer proves de camp per a comprovar el comportament i la viabilitat hidrodinàmica de l'equip. (Figura 3.4)



Figura 3.4 Detall de l'alliberador electromecànic, corda i cilindre d'acer.

Aquestes proves van fer-se amb 2 equips simulant el pes de l'electrònica amb bosses de sorra, tot provant diferents pesos de mort i diàmetres de flotadors auxiliars (esferes) . En les proves no hi havia instal·lat cap aparell electrònic, ja que en cas d'un impacte fort s'hagués pogut malmetre.

La zona escollida com a camp de proves va ser a 2 milles nàutiques davant la costa de Badalona al costat del pantalà que té Repsol. El vaixell de proves va ser l'Etxasbide del Institut de Ciències del Mar del CSIC.

Tot seguit es detallen les proves fetes i els seus resultats.

3.4.1. Primer Conjunt de proves

Pes de l'OBS 43kg. Mar plana. La profunditat de la zona era entre uns 15 i 20 m Aquesta baixa profunditat va ser escollida expressament per a poder-ne seguir la baixada amb submarinistes i en cas de que el sistema d'alliberament no funcionés correctament poder recuperar l'equip sense dificultats.

Prova	Flotador auxiliar	Mort (kg)	Velocitat de baixada (m/min)	Velocitat de pujada (m/min)
1	13''	35	51,3	51
2	17''	51	44,8	64,4
3	17''	41	24,6	67,5
4	13''	41	59,4	60,4

Taula 3.6 Resultat de les proves

Aquestes proves van proporcionar els resultats expressats en la taula i que es poden trobar en forma de gràfica en l'annex A.

Com es pot veure en la taula i corroborar en les gràfiques la millor baixada/pujada va ser la última, és a dir amb un flotador de 13'' i un pes de mort de 41kg.

Podem dir que és la millor perquè és on la velocitat de baixada/pujada és manté més constant en ambdós casos i que s'acosta més a la velocitat que prèviament s'havia requerit 1m/s.

3.4.2. Segon conjunt de proves

Pes de l'OBS 43kg. Mar força 3 i 4 amb ratxes de força 5 i 6 (ones de 2 metres i fort vent). La profunditat de la zona era entre uns 100 i 120 m. En vistes de l'èxit del sistema d'alliberament el dia anterior, en que els submarinistes no van haver d'actuar cap vegada, es va decidir llençar l'equip a més profunditat.

Resultat de les proves

Prova	Flotador	Mort (kg)	Velocitat de baixada (m/min)	Velocitat de pujada (m/min)
1	13''	41	55,5	30,3

Taula 3.7 Resultat de les proves

Va ser un molt mal dia per a fer proves. La corda del mort es va enganxar 2 vegades amb l'hèlix del vaixell. La primera es va poder alliberar i la segona no va ser possible. Les conclusions van ser que a 120m amb males condicions atmosfèriques i fort corrent marí va ser exitosa ja que es va poder recuperar l'equip. També es va delimitar el límit d'operativitat (llançament / recuperació de l'equip) en condicions adverses (vent força 6).

Aquest llançament va proporcionar els resultats expressats en la taula i que es mostren a sota en forma de gràfica. No és significatiu el resultat de la velocitat de pujada.

En la figura 3.15 es pot observar la disposició del equip i de la esfera auxiliar de flotació.



Figura 3.15 OBS en superfície amb sistema auxiliar de flotació.

3.5. Conclusions

Amb la validació del nou sistema d'alliberament format pel nou actuator electromecànic Deep Sea Release Unit de *Guralp Systems*, i amb l'elecció correcte de l'equip auxiliar de flotació (esfera de 13"), pes del llastrat (41kg) i longitud de corda a col·locar 80 cm), hem aconseguit millorar la fiabilitat en la recuperació dels sismòmetres de fons marí.

El següent pas es la millora en la manipulació dels OBS. En aquesta línia en el proper capítol es proposen algunes idees pel disseny d'una nova estructura mecànica que pugui encabir l'esfera que té la electrònica i la esfera auxiliar de flotació.

4 Nova estructura Mecànica del OBS

A partir de les dues esferes, la de 17" que conté la Electrònica i la de 13" que és auxiliar de flotabilitat, es proposa un nou disseny d'estructura que en el seu interior pugui incloure les dues esferes. Després de discussions sobre la forma que havia de tenir la nova estructura de l'OBS amb gent del SARTI i del CSIC, es va determinar la que es proposa a continuació, ja que millorava l'antiga estructura en mode de practicitat. Una imatge gràfica la donaria una closca de cacauet.

Al fer el disseny de la nova estructura i en la línia d'agilitzar la manipulació, es proposa encabir en l'esfera de 13" les bateries, d'aquesta manera l'esfera de 17" té més flotabilitat i ens assegurem que l'equip en superfície quedi en vertical característica que no hem aconseguit en els prototips previs (veure foto 3.15); i d'altre banda permet un intercanvi ràpid de la unitat de bateries, podent llançar un altre cop l'equip de mesura per continuar la campanya sense pèrdua de temps.

En la figura 4.1 es pot veure la dispersió de peces de l'actual OBS, tot seguit es detallaran els passos seguits per al canvi de la nova estructura, des de la proposta fins al seu muntatge

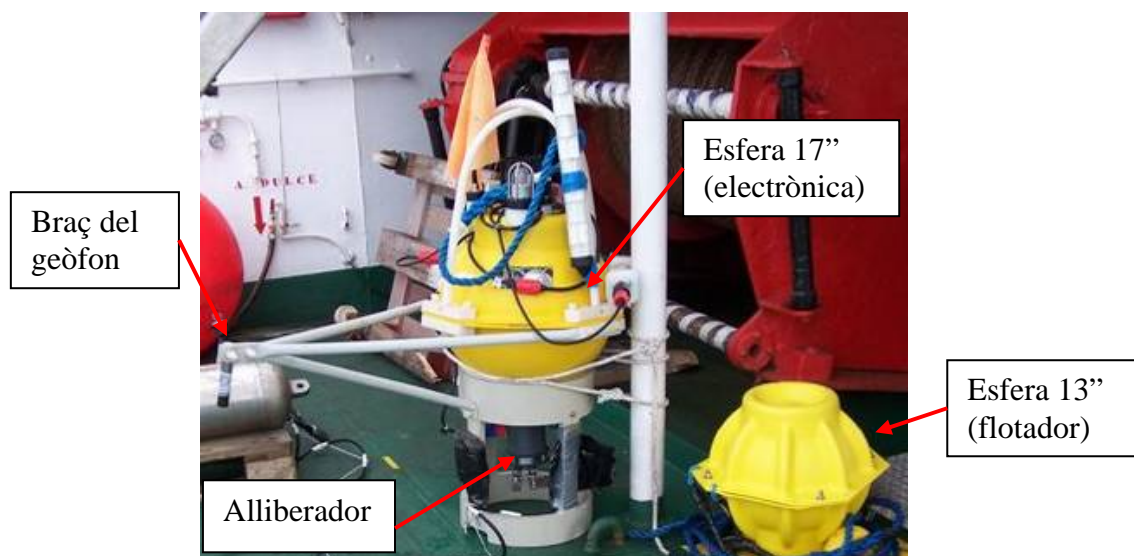


Figura 4.1 Estructura mecànica OBS actual

4.1 Proposta de la nova estructura

En la figura 4.2 es mostra un esbós de la nova estructura proposada. Tal i com s'ha comentat anteriorment té una forma que recorda la closca d'un cacauet, és a dir en la part superior s'hi situarà l'esfera de 17" i a la part inferior la de 13". A més d'això i mitjançant suports i allotjaments, tot un seguit d'elements perifèrics formaran part del nou OBS (Esferes, geòfon, hidròfon, llum, antena, alliberador, bateries, electrònica....)

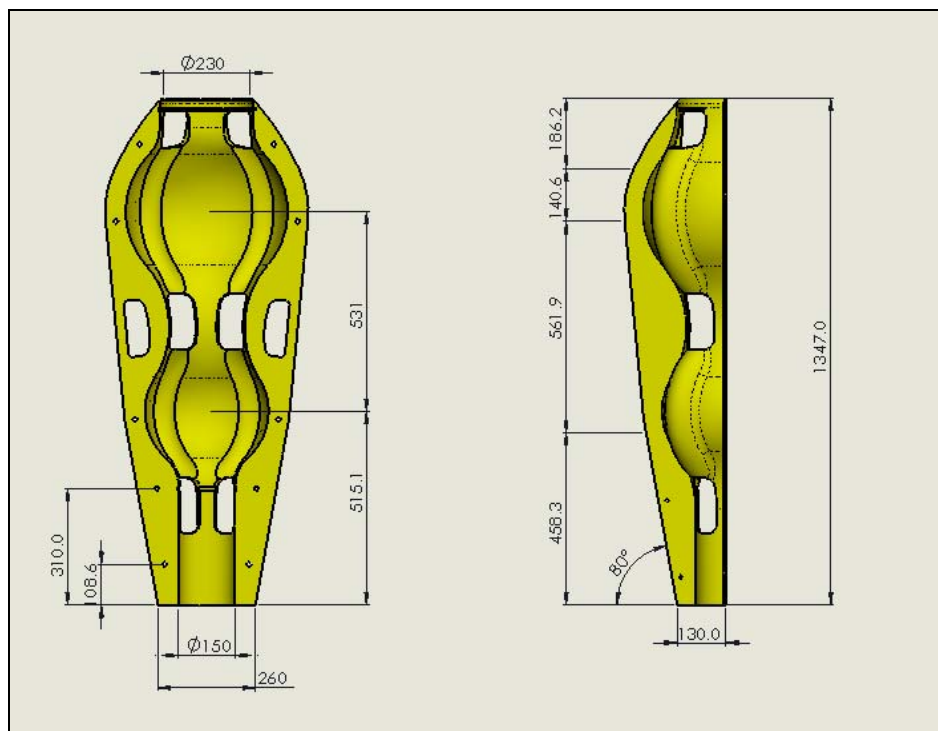


Figura 4.2 Vista general de la nova estructura

4.2 Desenvolupament mecànic de la nova estructura

L'eina de disseny mecànic utilitzada en el disseny de la nova estructura de l'OBS ha estat el programa SolidWorks. A la figura 4.3 es mostra la forma desitjada del nou prototip de l'OBS:

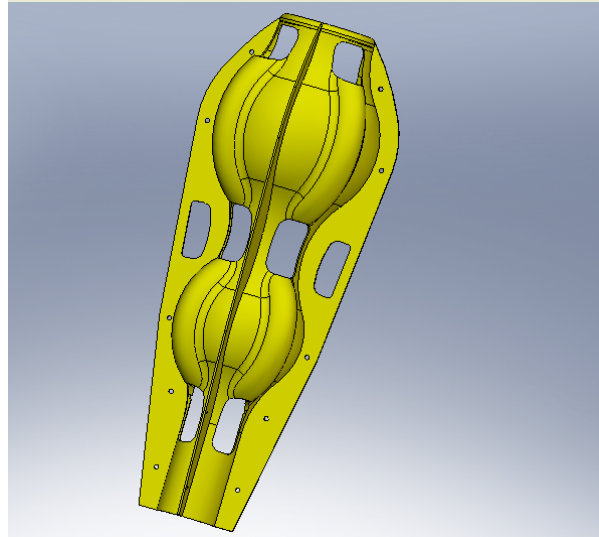


Figura 4.3 prototip carcassa OBS

Passos seguits en el disseny:

1. Partim des d'un centre de coordenades en el que referenciem tota la peça. Comencem fent el croquis de la forma interior desitjada i extrusionem la forma que volem segons la figura 4.4:

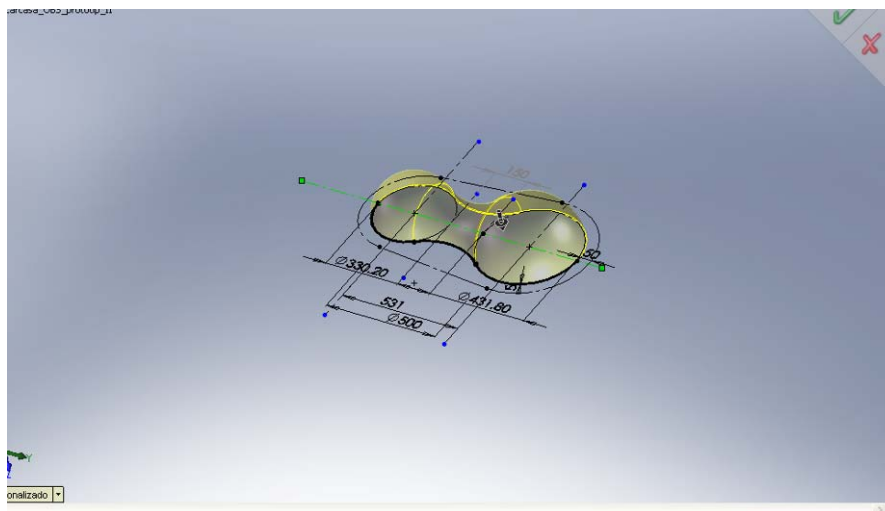


Figura 4.4 Centre de coordenades i croquis

Una vegada hem dibuixat el croquis i tenim la vista extrusionada, s'ha de referenciar el croquis per a que les parts ens quedin a on volem, és a dir que cada part ha d'estar definida i referenciada respecte l'origen de coordenades per a que posteriorment no tinguem problemes de que les parts dibuixades perdin la referència desitjada original.

2. Quan ja tenim la forma inicial desitjada, extrusionem la forma exterior del cos i començem a donar-li la forma de la part inferior (figura 4.5):

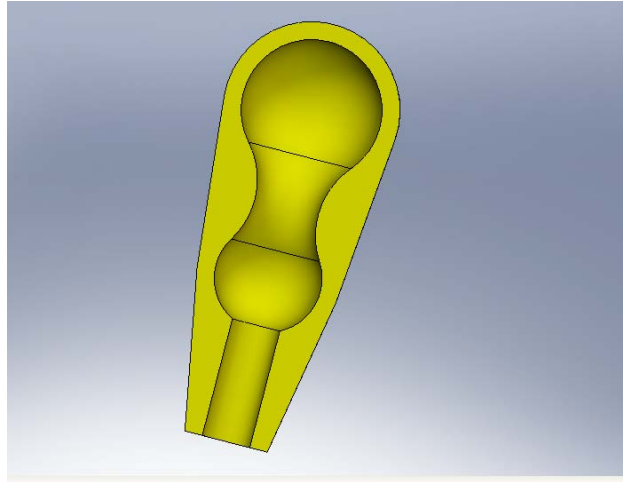


Figura 4.5 Extrusió de la forma exterior desitjada

3. A partir d'ara anem mecanitzant la forma per a aconseguir els forats i els espais buits necessaris per a passar-hi els cablejats que connectaran els accessoris amb les esferes. Per a fer això hem de crear nous plans de treball, (pla 1 i pla 2) que ens serviran posteriorment per a fer els buidatges. (figura 4.6)

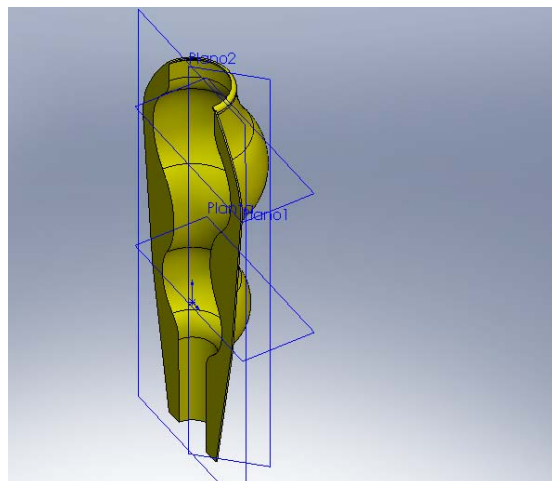


Figura 4.6 Creació dels plans 1 i 2

4. Una vegada ja tenim extrusionada la part per a passar el cablejat d'una part de la secció, podem anar-ho copiant en les diferents parts on han d'anar ubicades. (figura 4.7)

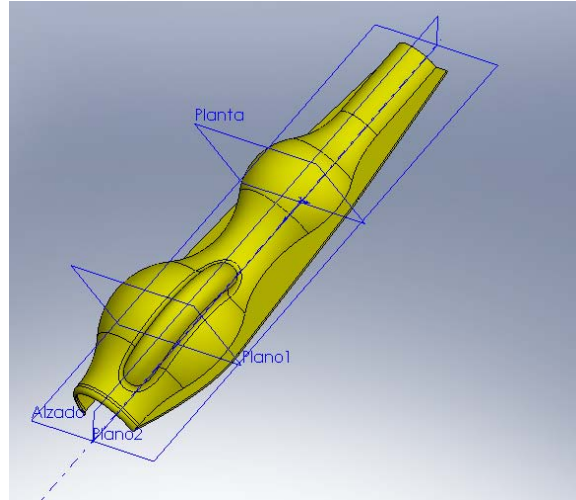


Figura 4.7 Extrusionat de les cavitats pel cablejat

5. Quan les cavitats pel cablejat estan extrusionades, ja podem seguir donant-li forma a l'OBS. Seguidament construïm l'aleta en que aniran suportades les bateries del llum i de l'antena alhora que crearem un nou pla (pla 3) que servirà per a poder fer els buidatges que, per una banda alleugeraran la carcassa i per l'altre permetran que l'aigua pugi entrar dintre la carcassa sense dificultats i així no haurà de suportar pressió afegida. (figura 4.8)

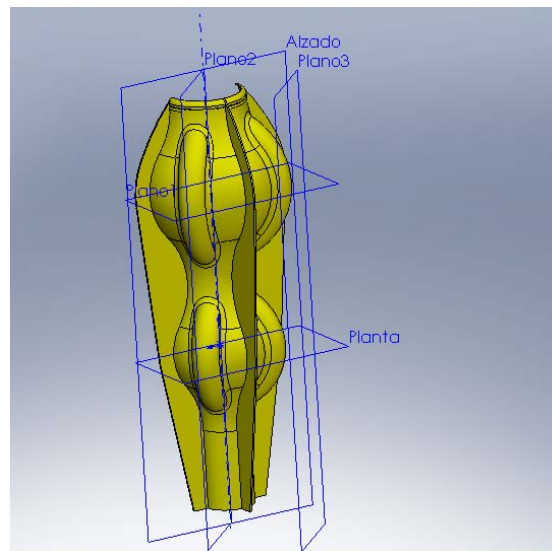


Figura 4.8 Pla 3 a 45° respecte l'alçat

6. Tal i com podem veure en aquesta figura, ja hem fet els buidatges alhora que també hem mecanitzat els forats laterals que serviran per a poder agafar l'OBS amb comoditat i ajuntar les dues cares. Aquests forats estan situats simètricament a ambdós plans laterals de la carcassa per a que una vegada superposem les dues, per a que sigui un cos tancat, quedin exactament situades. (figura 4.9)

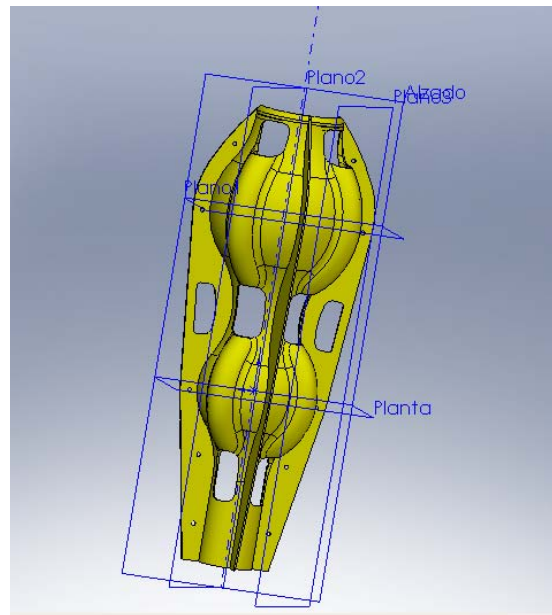


Figura 4.9 Buidatges del OBS

7. Una vegada la peça ja està construïda, mecanitzarem els forats per a allotjar-hi el braç d'on penjarà el geòfon i on aniràn montades les bateries del llum i l'antena. (Figura 4.10)

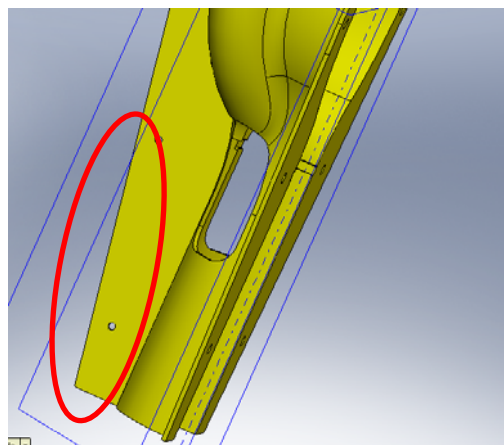


Figura 4.10 Forat d'unió del OBS amb el geòfon

D'aquesta manera s'han anat dibuixant totes les peces que finalment han servit per a constituir l'OBS. Per a fer el muntatge, obrim una finestra nova.

Com a base agafem la carcassa del prototip de l'OBS. Una vegada la tenim fixada, insertem primer l'esfera de 13" i després la de 17" tot determinant unes relacions de posició d'una respecte l'altre, per exemple les esferes seran concèntriques a la mitja esfera que té la carcassa del prototip.

Seguidament insertarem l'altre cara de la carcassa per a tancar el "cacauet". I així successivament les la resta de peces(figura 4.11)

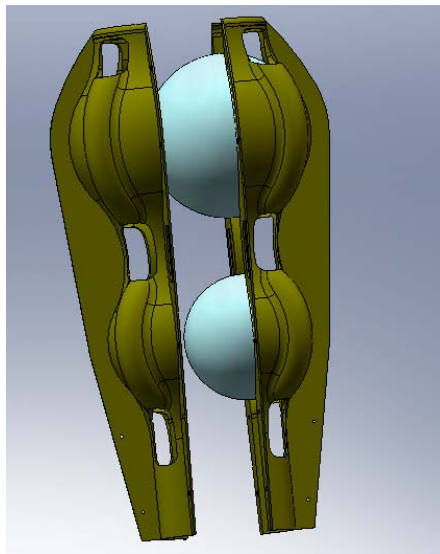


Figura 4.11 Ensamblatge OBS

Una vegada hem acabat de dibuixar i ajuntar les peces, els hi donarem propietats mecàniques, és a dir definirem el material associat a elles per així facilitar els càlculs posteriors. (Figura 4.12)

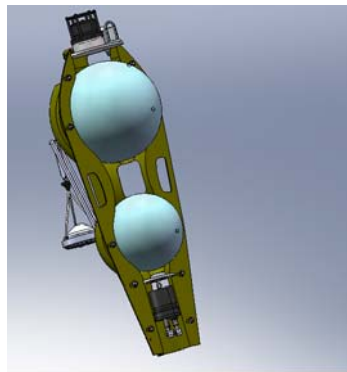


Figura 4.12 Ensamblatge complet amb les propietats mecàniques

I finalment, muntarem tota l'estructura amb totes les parts perifèriques. Així quedaria el nou OBS (figura 4.13)

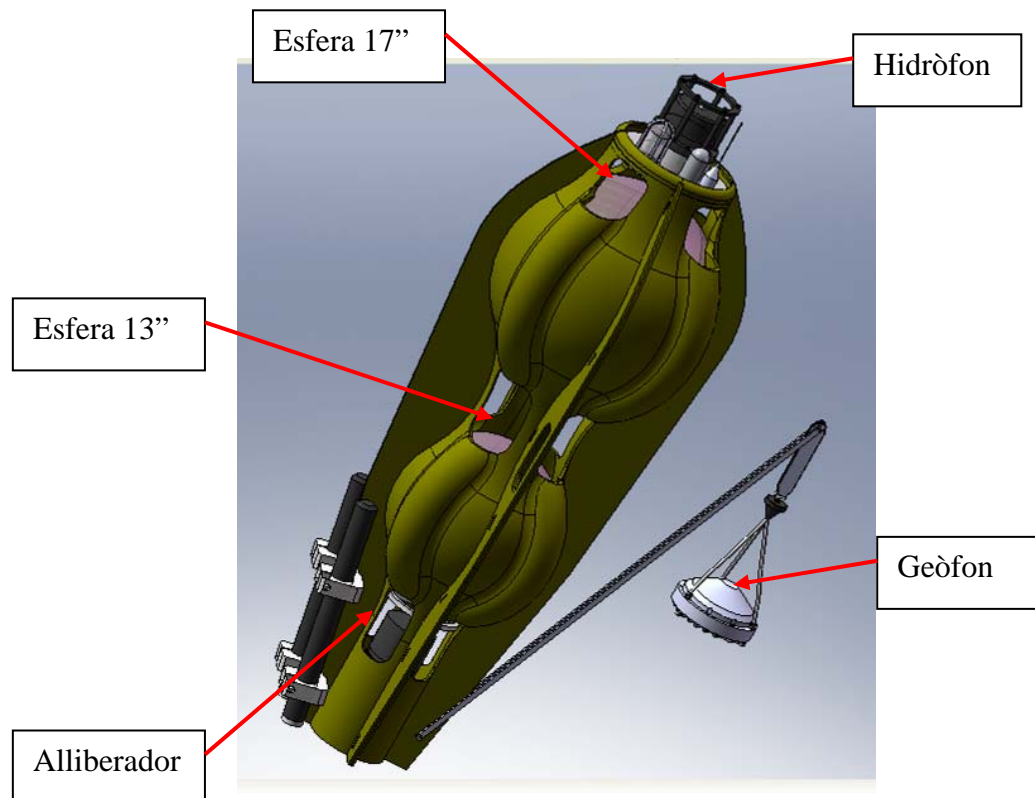


Figura 4.13 Nova estructura mecànica OBS

Quan ja tenim l'estructura dissenyada, farem els càlculs del pes de mort a utilitzar, tal i com hem fet en l'apartat anterior.

4.3 Càlculs

A continuació, a la taula 4.1 es presenten els pesos dels diferents elements del OBS calculats teòricament i contrastats empíricament (excepte en el cas de les carcasses, que és un resultat teòric), mitjançant la seva densitat i volum:

Element	Material	Volum desplaçat (mm ³) pel material	Unitats	Densitat mitjana (g/mm ³)	Pes (Kg)
Transductor	Varis	910828.14	1	0.00236	2.15
hidròfon	EP	103499.26	1	0.002995	0.31
antena	Varis	63961.76	1	0.005316	0.34
llum	Varis	187379.09	1	0.003416	0.64
alliberador	Varis	1070716.72	1	0.002391	2.56
bateria (novatech)	Varis	719842.59	2	0.002472	3.56
esfera 17"	Borosilicat vidre	7687636.4	1	0.00223	17.14
esfera 13"	Borosilicat vidre	3848327	1	0.00233	8.50
plat superior	HDPE	403765.34	1	0.000952	0.37
Suport bateries	HDPE	116769.86	4	0.000952	0.44
carcassa OBS	HDPE	4964553.96	2	0.000952	8.55
geòfon	Alumini 3005-H18	1304072.65	1	0.00279	3.64
Braç del geòfon	HDPE	151217.27	2	0.000952	0.29
Total en buit =					48.49

Taula 4.1 Taula de components OBS

On:

El volum desplaçat TOTAL és: $7,53 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

La densitat mitjana del conjunt és: $1,8831 \text{ kg/m}^3$

El pes net de l'OBS sense bateries ni electrònica és de 48,5kg.

Fent servir les equacions emprades en l'apartat 3 calcularem el valor del nombre de Reynolds per a saber en quin règim ens trobem. D'entrada, el que podem dir és que donarà un valor similar, ja que el elements són pràcticament els mateixos, així doncs:

$\nu \text{ (m}^2\text{/s)}$	$L' \text{ (m)}$
$1.4 \cdot 10^{-6}$	0.52

Taula 4.2 Valors utilitzats per al càlcul de Re

Re max	$4,60 \cdot 10^5$
Re min	$2,76 \cdot 10^5$
Re mitjà	$3,68 \cdot 10^5$

Taula 4.3 Reynolds obtinguts

Per tant estarem en règim TURBULENT en els tres casos i assumirem un valor mig de $3,68 \cdot 10^5$ per als propers càlculs.

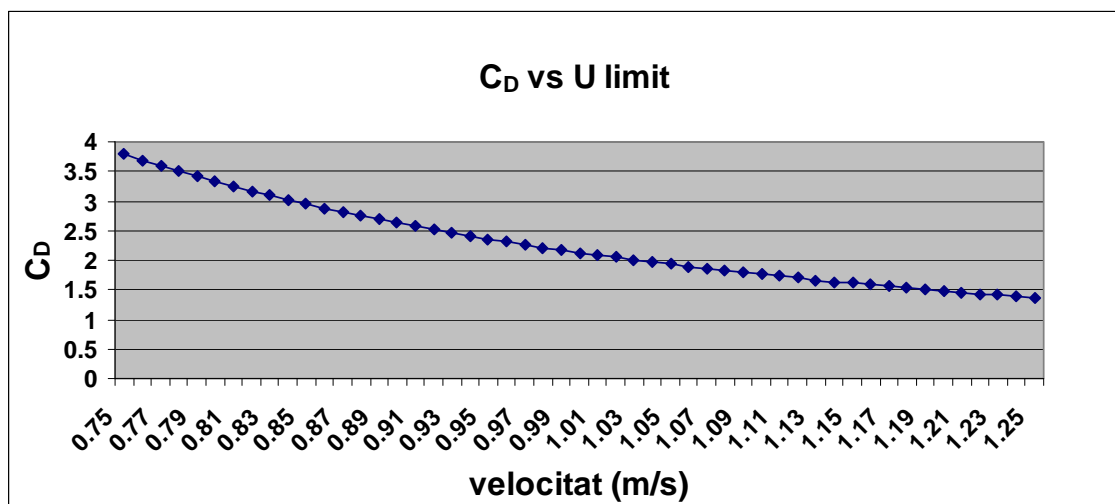
Una vegada hem trobat el R_e , buscarem el valor del coeficient de fricció del sistema en front a la pujada i la baixada. Per a trobar-lo necessitem saber l'àrea eficaç. Per tant i segons la taula tindrem que:

Element	Àrea (mm^2)	Unitats	àrea per conjunts (mm^2)
àrea central	41547.56	1	41547.56
Quart exterior	31261.38	4	125045.52
Bateria	437.79	2	875.58
Geòfon	23235	1	23235
Braç	7782.4	2	15564.8

Ae (TOTAL)	206268.46	mm^2
	0.21	m^2

Taula 4.4 Càlcul de l'àrea eficaç

Per tant, per a un rang de velocitats de 0.75 a 1.25 m/s, tindrem uns valors de C_D :



Gràfica 4.1 Coeficient de fricció respecte la velocitat límit

D'aquí obtindrem uns valors de:

C_D max	3.79
C_D min	1.36
C_D mig	2.28

Taula 4.5 Coeficients de fricció obtinguts

4.3.1 Càlcul de la velocitat d'ascens

Com a primer valor orientatiu, podem dir que el pes màxim del OBS pel que flotarà serà:

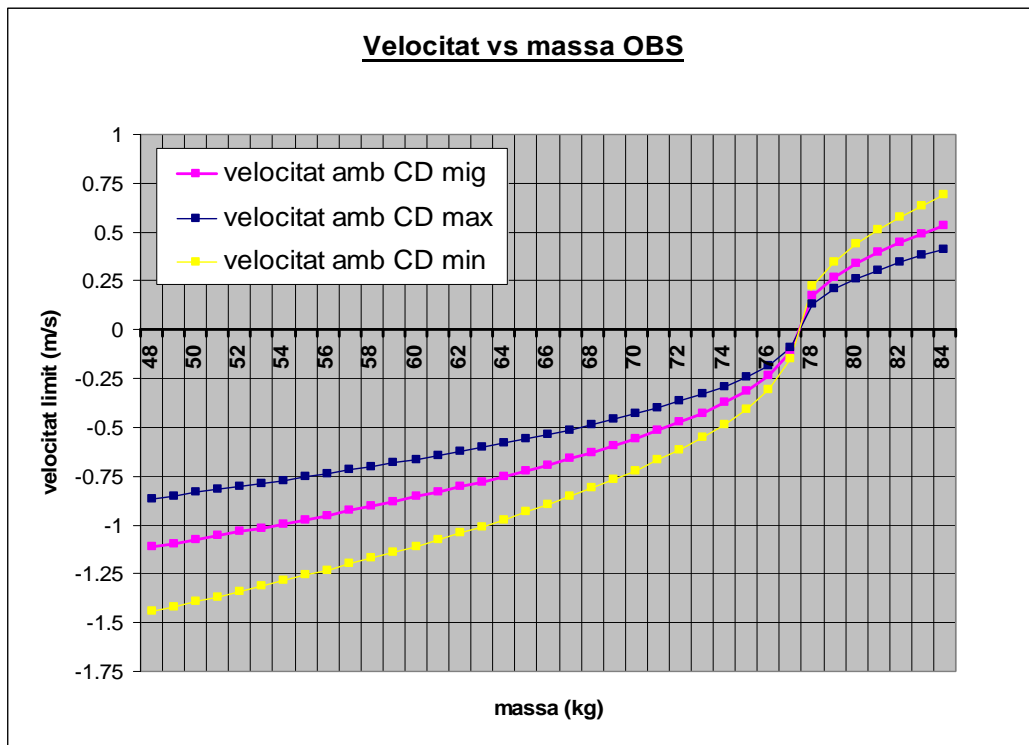
$$M_{OBS}^{\max} = \rho_w V_{OBS}$$

Que introduint els valors anunciats anteriorment, podem dir que per un pes superior a 77.3Kg el cos començarà a enfonsar-se. Això implica que si tenim un valor de 48.5Kg de OBS buit, podem afegir 28.7Kg de pes més fins que aquest no comenci a enfonsar-se.

Ara, buscarem la velocitat d'ascens a la que ho faria en diferents condicions de pes. Considerant que la velocitat és positiva al baixar cap al fons del mar, tenim que quan floti i el OBS puji fins la superfície aquest tindrà velocitat negativa. I aïllant a la fórmula base (apartat 3 equació 3.1), tenim:

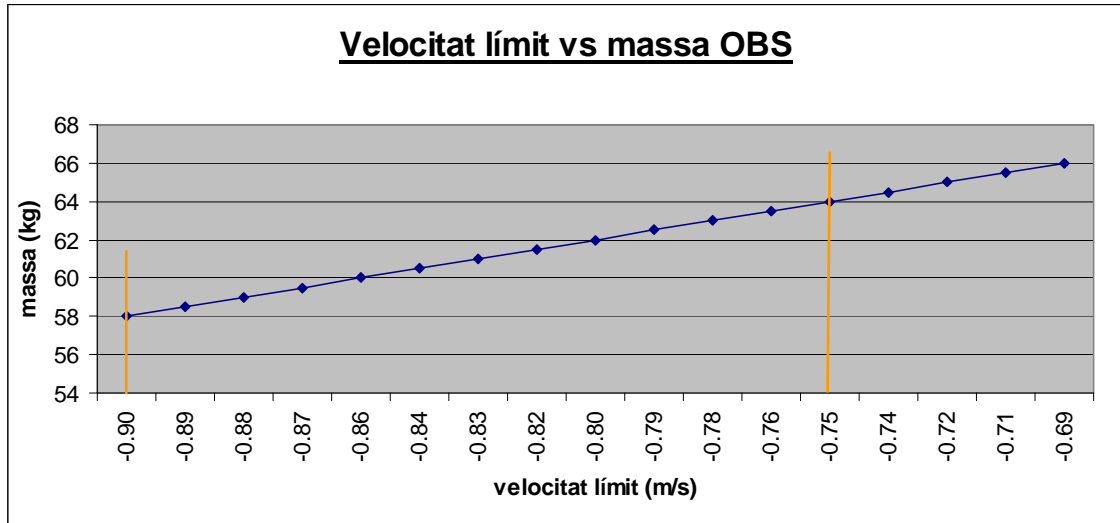
$$u_{\lim} = \sqrt{\frac{2(M_{OBS} - \rho_w V_{OBS})}{C_D \rho_w A_e}}$$

Pel que obtenim uns valors de la velocitat límit tal com:



Gràfica 4.2 Velocitat límit de pujada utilitzant els diferents C_D

Una de les limitacions a l'hora de fer el disseny de la nova carcassa de l'OBS, és que la velocitat, tant de pujada com de baixada ha d'estar entre 0.75m/s i 1.25m/s, i tenint en compte que el valor actual de les bateries i l'electrònica és de (8+2)kg, el pes de l'OBS podrà ser:



Gràfica 4.3 Relació velocitat de pujada – massa de l'OBS

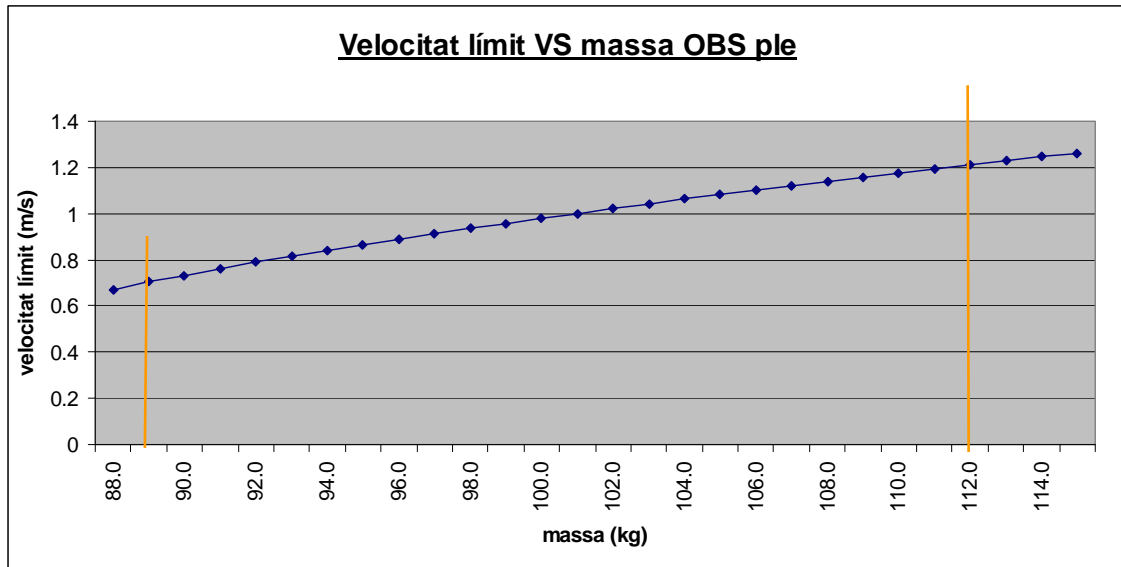
Mirant al gràfic 4.3, podem observar que per el rang de velocitats preestablert (1.25 - 0.75)m/s, l'OBS funcionaria en un rang de pesos de 58kg a 64kg.

Per tant a l'OBS s'hi podria afegir fins a 6kg més de pes, que poden ser bateries i seguirà flotant i així poder allargar el temps d'estada al fons del mar.

4.3.2 Càlcul de la velocitat de descens i del pes de l'àncora

El càlcul del pes de l'àncora, tal com hem fet en l'apartat anterior, implica només afegir el pes suposat a la fórmula base (apartat 3 equació 3.1) i estudiar el seu comportament amb diferents pesos.

A la gràfica següent podem veure les diferents velocitats en funció de la massa total del OBS més el pes de l'àncora.



Gràfica 4.4 Velocitat de baixada en funció de la massa total

Mirant la gràfica 4.4 comprovem que l'OBS tindrà la velocitat de baixada requerida quan el seu pes total sigui d'entre uns 89kg i uns 113kg.

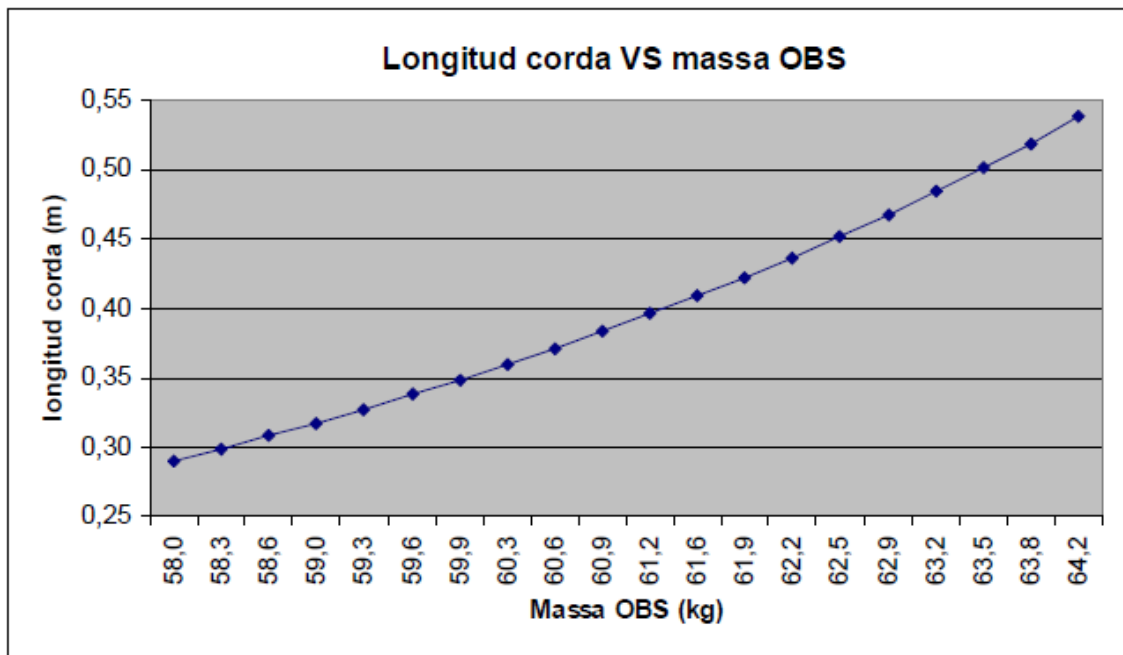
Per tant amb el pes actual del OBS, el pes de l'àncora requerit per a que baixi a una velocitat aproximada d'1m/s serà de 51kg.

Tot i així i com hem explicat en el punt anterior, si es decidís augmentar la quantitat de bateries o d'electrònica i, per tant, que el pes de l'OBS augmentés, el pes del mort disminuiria amb la mateixa proporció.

4.3.3 Càlcul de la longitud de la corda de l'alliberador

Igual que en el capítol anterior, calcularem la longitud de la corda del sistema d'alliberament tal que la velocitat d'impacte amb el fons marí sigui nul·la, tenint en compte la velocitat de baixada límit com a velocitat inicial (1m/s) i la massa de l'OBS sense l'àncora, ja que quan arriba al fons marí deixa d'actuar.

Tenint en consideració aquests factors la longitud de la corda segons la massa serà:



Gràfica 4.5 Longitud de la corda en funció de la massa de l'OBS

Com que treballem al voltant de valors baixos de pes d'OBS, utilitzarem una corda de 0.5m de longitud. El dia que treballem amb valors de massa superiors, es procedirà a canviar la longitud de la corda.

4.4 Conclusions

Una vegada hem fet l'estudi, podem dir que es valida el disseny mecànic realitzat, ja que el rang de funcionament de pesos (de 58 a 64 kg) és suficientment gran com perquè quan es facin les proves de camp del nou aparell puguin haver variacions de pes en l'OBS (electrònica sobretot) i així poder allargar el seu temps d'estada en el fons marí.

El següent pas seria construir l'equip i fer una sèrie de proves de camp (com les fetes en l'actual OBS) que validarien els càlculs i una vegada fetes i aprovades, començar a treballar amb l'aparell.

5. Pressupost

El pressupost es dividirà en dos apartats,

1. Canvi del sistema d'alliberament i il·lustrat de l'OBS actual
2. Disseny d'una nova carcassa per a l'OBS

1. Canvi del sistema d'alliberament i il·lustrat de l'OBS actual

Per fer aquesta modificació s'ha partit de l'OBS antic és a dir el que el sistema d'alliberament estava unit al seu cos. Aquest aparell tenia un cost de 15.900 €/unitat. En la taula 5.1 hi ha la relació de peces canviades i treballs efectuats per validar el nou sistema.

Descripció	Unitats	Preu unitari	Total
Placa d'alliberament mecànic d'IXSEA AR9x1-OEM	1	1540 €/unitat	1540 €
Alliberador mecànic de Guralp Systems model deep sea release mechanism	1	6000 €/unitat	6000 €
Corda de niló	1	3 €/metre	3 €
Peça metàl·lica de 41kg	1	30 €/unitat	30 €
Hores d'enginyeria	24	60 €/hora	1440 €
Proves de camp inclouen vaixell amb els instruments necessaris	2	4000 €/unitat	8000 €

Preu total	17013 €
------------	---------

Taula 5.1 Preu modificacions sistema d'alliberament

Una vegada comptat, la modificació del sistema d'alliberament amb totes les proves per a validar-ne el seu disseny mecànic té un cost total de 17013€ (disset mil tretze) euros.

Per tant i tenint en compte que partíem de l'OBS que estava en ús, i la majoria d'elements seran aprofitats (excepte l'alliberador i la seva electrònica que ja no es muntaran (Cost de 2000€)) l'increment de preu per unitat per a una

fabricació de 20 unitats és de 8045 €/unitat (vuit mil quaranta-cinc) euros per unitat, per tant el cost total per OBS és:

Cos de l'OBS actual sense alliberador i electrònica: $15900 - 2000 = 13900$ €

Increment corresponent a la modificació realitzada:	<u>8045 €</u>
Total	21945 €

El pressupost final és de vint mil tres-cents setanta-dos euros per unitat.

2. Disseny i realització de la nova carcassa per a l'OBS

Com s'ha explicat anteriorment el l'apartat 4, aquest OBS muntarà la majoria d'elements perifèrics que s'utilitzaven en l'antic OBS, per tant l'increment de preu es veurà únicament reflectit en el disseny i la construcció de la carcassa i dels suports per a unir els diferents elements.

Descripció	Unitats	Preu unitari	Total
Motlle d'injecció de plàstic amb got postís	1	65000 €/unitat	65000,00 €
Carcassa OBS PEHD (polietilè d'alta densitat)	2	11,86 €/unitat	23,72 €
Mecanització i material peça suport bateries llum i antena	4	30 €/unitat	120,00 €
Mecanització i material tapa superior	1	20 €/unitat	20,00 €
Mecanització i material braç del geòfon	2	40 €/unitat	80,00 €
Roda metàl·lica de (\varnothing 158mm x 10mm) per a suportar l'alliberador	1	50 €/unitat	50,00 €
Cargol M12 – 1.75x50	10	0,75 €/unitat	7,50 €
Femella M12 – 1.75	10	0,2 €/unitat	2,00 €
Cargol allen M6 – 1 x50	4	0,1 €/unitat	0,40 €
Cargol M8 – 1.25 x 55	2	0,36 €/unitat	0,72 €
Cargol M8 – 1.25 x 45	1	0,32 €/unitat	0,32 €
Femella M8 1.25	3	0,14 €/unitat	0,42 €
Cargol M6 1 x 60	1	0,25 €/unitat	0,25 €
Femella M6 1	1	0,1 €/unitat	0,10 €
Peça metàl·lica de 51kg	1	30 €/unitat	30,00 €
Hores d'enginyeria	200	60 €/hora	12000,00 €

Preu total	77335,43 €
------------	------------

La modificació de la carcassa i l'adequació de tots els elements perifèrics existents per a que funcioni correctament, a més de l'estudi de les velocitats tant de baixada com de pujada té un cost total de 77335,43 € (setanta-set mil tres-cents trenta-cinc euros amb quaranta-tres cèntims)

Tal i com s'ha comentat anteriorment els elements perifèrics a la carcassa s'han mantingut, per tant el preu de cada OBS tenint en compte que es fes una fabricació de 20 aparells, amb les proves de camp incloses (+8000€) seria de 26530,43 €/unitat

• Preu de l'actual OBS:	21945,00 €
• Proves de camp, motlle d'injecció i hores enginyeria: $85000 / 20 = 4250,00$ €	
• Materials construcció de la nova carcassa:	335,43 €
	<hr/>
Total	26530,43 €

El pressupost final serà ascendeix a la quantitat de vint-i-sis mil cinc-cents trenta euros amb quaranta-tres cèntims.

6. Aspectes mediambientals i conclusions

6.1 Aspectes mediambientals

En aquest treball s'han tingut en compte els aspectes mediambientals respecte als materials que constitueixen l'OBS, és a dir, quins materials no es poden recuperar i quins una vegada l'aparell estigui en desús, podran ser recuperats i quina serà la manera de reciclar-los.

Com s'ha explicat anteriorment en l'apartat 3 i 4, l'OBS per si sol flota, per a que s'enfonsi hem d'afegir-li un pes que mantindrà l'OBS al fons marí fins que decidim alliberar-lo del pes i recuperar-lo. Com bé queda dit, l'OBS es separa del pes i puja a la superfície, per tant, el pes metàl·lic de 51 kg i la corda de niló de 50 cm quedaran al fons marí sense poder-los recuperar. Tenint en compte la gran quantitat de ferralla que es tira al fons del mar (sobretot vaixells), el nostre pes i corda, és una part insignificant que no suposaran un problema per a l'ecosistema marí.

D'altra banda, una vegada l'equip estigui en desús, es reciclaran el màxim de materials. Per a saber que hem de fer amb cada un d'ells, s'ha consultat a l'Agència Catalana de Residus i ens ha donat les següents directrius a seguir per al reciclatge de cada una de les parts:

- PEHD (Polietilè d'alta densitat)

Aquest material es portaria a una planta recuperadora de plàstic, el qual es tornaria a fondre per a construir peces noves.

- Borosilicat de vidre (esferes)

Les dues esferes estan fabricades amb aquest material, i com que son de vidre es portarien a una planta de reciclatge de vidre

- Alumini (geòfon)

Es porta a una deixalleria i aquesta a una foneria d'alumini, el qual l'aprofitaran per fondre'l i fabricar peces noves.

La resta de materials que no consten aquí, es portaran en una deixalleria, on es classificaran segons si es poden reciclar o no. Per exemple l'electrònica, transductor, hidròfon, llum, antena,...

6.2 Conclusions

En el capítol 3 varem desenvolupar una sèrie de modificacions en l'estructura mecànica per tal d'augmentar la fiabilitat en la recuperació dels equips. Amb aquest objectiu es va procedir al canvi de l'actuador d'alliberament del mort que provoca l'enfonsament del OBS. També es va optar per canviar el sistema d'enfonsament, de tal manera que excepte el mort, només el sensor que recull les vibracions del fons marí (geòfon) quedés en contacte amb el sòl; el sistema d'adquisició i tota la electrònica encabida a la esfera de 17", queda en suspensió, evitat el contacte amb el fons i possibles averies en ella fruit de l'impacte en el procés de baixada. Per poder aconseguir aquest objectiu es va fer un estudi del pes i longitud de la corda que uneix el mort i el transductor de alliberament mecànic col·locat a l'equip.

Els valors de la estructura d'acer (mort o àncora) a col·locar a l'equip per provocar el seu enfonsament a una velocitat constant de 1m/s, així com la longitud de la corda varen ser validats en unes proves de camp. Posteriorment els equips OBS modificats han estat utilitzats a campanyes oceanogràfiques geofísiques amb un èxit total en la recollida dels equips i qualitat de les dades. Per tant el temps i els diners emprats per a millorar tot el sistema d'alliberament queden totalment amortitzats.

En el capítol 4, ha estat presentat un estudi fent servir el programari Solidworks per tal de construir un equip més compacte, i fàcil de manipular. Una vegada fet el disseny del nou OBS s'ha procedit a fer un estudi hidrodinàmic de la pujada i la baixada. Després d'obtenir-ne els resultats, podem dir que es valida el disseny mecànic, ja que el rang de funcionament de pesos (de 58 a 64 kg) és suficientment gran com per quan es facin les proves de camp del nou aparell puguin haver variacions de pes en l'OBS (electrònica sobretot) i així poder allargar el seu temps d'estada en el fons marí.

El següent pas seria construir una nova estructura de l'equip, i fer una sèrie de proves de camp que validarien els càlculs. Un cop fetes i avaluades, s'hauria de valorar si la millora efectuada a l'equip i el seu cost és amortitzable en les campanyes oceanogràfiques de sísmica activa que hi hagin a la vista, ja que el seu cost augmenta aproximadament un 45% del cost del cost del miniDOBS. Depenent de la utilitat que se li vulgui donar, és a dir si es destinés a la indústria petrolera, el preu no seria tant car, tenint en compte la seva fiabilitat en l'emmagatzematge de dades i en la seva recuperació del fons marí.

Bibliografia

Llibres de text

- J. Bialas, E. R. Flueh., "Ocean Bottom Seismometers", Sea Technology, nº40, 4, pp 41-46. 1999.
- J. Bialas, E. R. Flueh., J. Phipps Morgan., K. Schleisiek, G. Neuhaeuser , " Ocean bottom seismology in the third millennium", Science Technology Synergy Research in the Marine Environment, Challenges for the Xxi Century, Elsevier Science, pp 37-44, 2002.
- J. Havskov, G. Aguacil, "Instrumentation in Earthquake Seismology", Springer, 2004.
- Y. hello, B. A. Yates, A. Anglade, A. Gailler, Ph. Charvis "Hippocampe: a New Versatile Ocean Bottom Seismometer", Geophysical Research Abstracts, European Geosciences Union (EGU), Vol 8, 2006.
- Y. Auffret, P. Pelleau, F. Klingelhofer, L. Geli, J. Crozon, J.Y. Lin, J.-C. Sibuet, "MicrOBS : A New Generation Of Ocean Bottom Seismometer", First Break, Vol 22, pp 41-47, 2004.
- Rodríguez de Abajo, F. Javier, Galerraga Astibia, Roberto, "Normalización del Dibujo Industrial", Ed. Donostiarra S.A., 1993 San Sebastián, pgs. 13-43,110-132,136-139,183-185,190-196,271-273
- Mànuel, G. Olivar, J. del Rio, H. Torruella, J. Dañobeitia, A. Bermúdez, J. Díaz, T. Owen, *New Generation of Ocean Bottom, Seismometers. Preamplifier System*, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC'2002, Anchorage (Alaska), 21-23 Mayo 2002.
- Larburu, N., "Máquinas prontuario", Ed. Paraninfo S.A., Madrid 2001
- Shariat Panahi, Shahram (2007) . Aportaciones a la caracterización y diseño de los sistemas de registro y almacenamiento de datos de los sismómetros de fondo marino (OBS). . Manuel Lazaro, Antonio (director) . Tesi doctoral . Departament d'Enginyeria Electrònica . Universitat Politècnica de Catalunya

Pàgines web

- SEIMAC. elements de busqueda aplicats a la marina
http://www.seimac.com/index.php?option=com_content&task=view&id=35&Itemid=63
Data de consulta 29/12/2008
- GÜRALP SYSTEMS. sismòmetres, alliberadors mecànics. Elements per a la sísmica marina
<http://www.guralp.com/>
Data de consulta 20/01/2009
- IXSEA. catàleg general de peces
<http://www.ixsea.com/en/products/>
Data de consulta 20/01/2009
- SEACON. connectors submarins
http://www.seaconbrantner.com/CompanyProfile/seacon_europe.htm
Data de consulta 20/01/2009
- USGS. "What is an Ocean Bottom Seismometer".
<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/obs/whatobs.pdf>
Data de consulta 23/01/2009
- HIGH TECH, Inc. Hidrofons i adquisidors de dades (dataloggers)
<http://home.att.net/~hightechinc/>
Data de consulta 02/03/2009
- AGÈNCIA CATALANA DE RESIDUS. Tractament de residus
<http://www.arc.cat/ca/publicacions/pdf/agencia/manual.pdf>
Data de consulta 27/05/2009

ANNEXES

- Annex A
- Annex B
- Annex C

Annex A

Gràfiques proves de camp

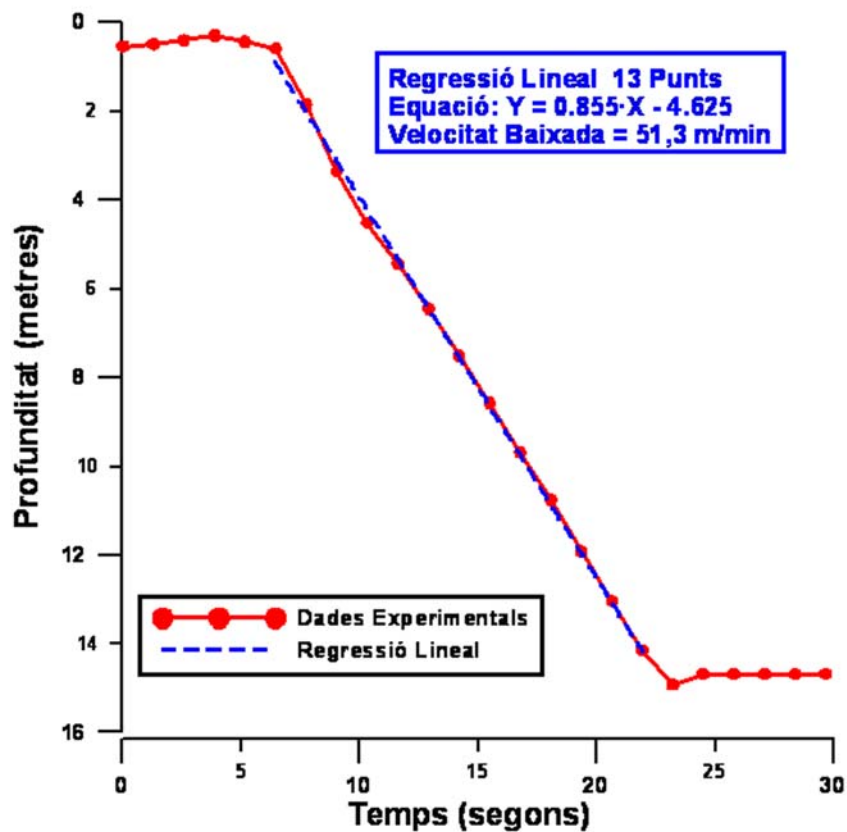
Dia 1

Figura A1. Dia 1 Baixada 1 Flotador 13" Mort 35 kg

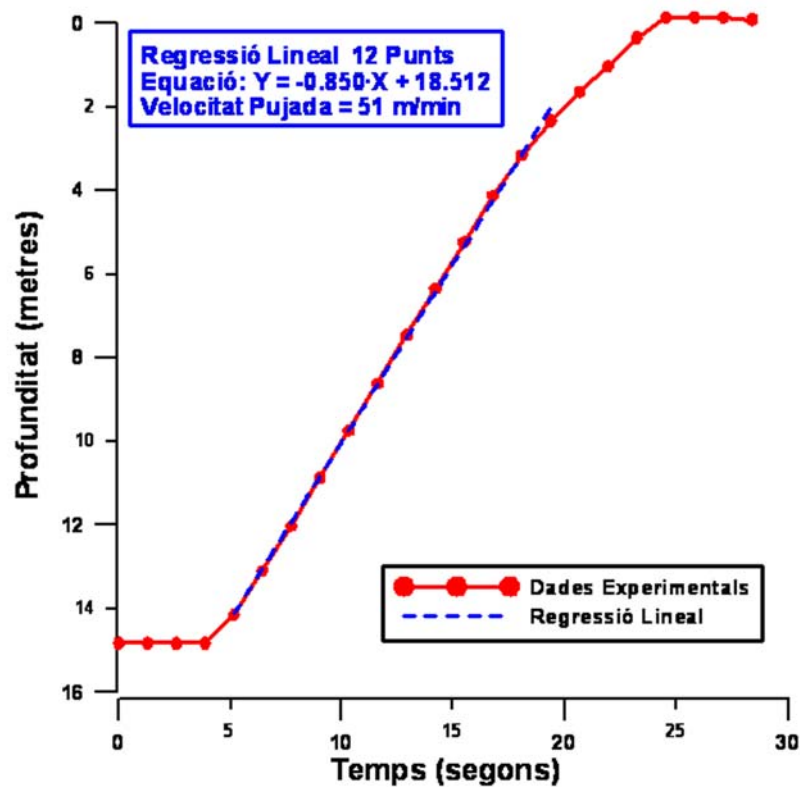


Figura A2. Dia 1 Pujada 1 Flotador 13"

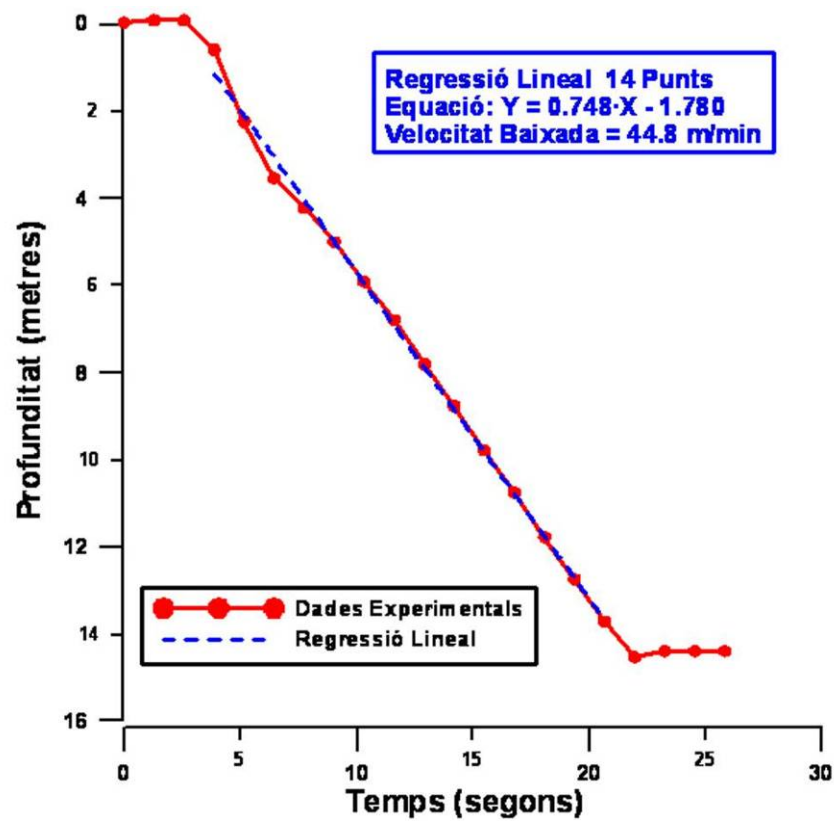


Figura A3 Dia 1 Baixada 2 Flotador 17" Mort 51kg

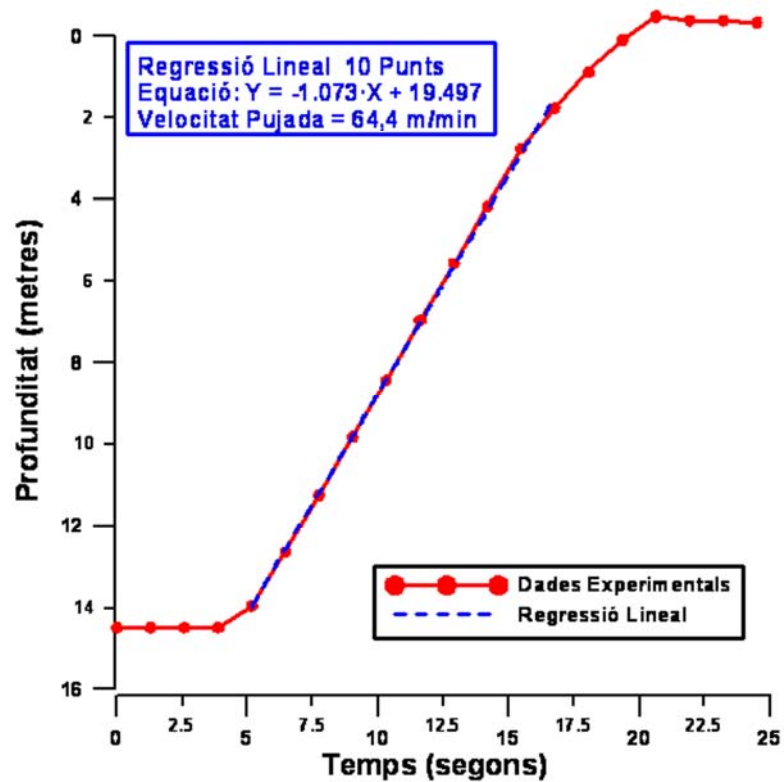


Figura A4 Dia 1 Pujada 2 Flotador 17"

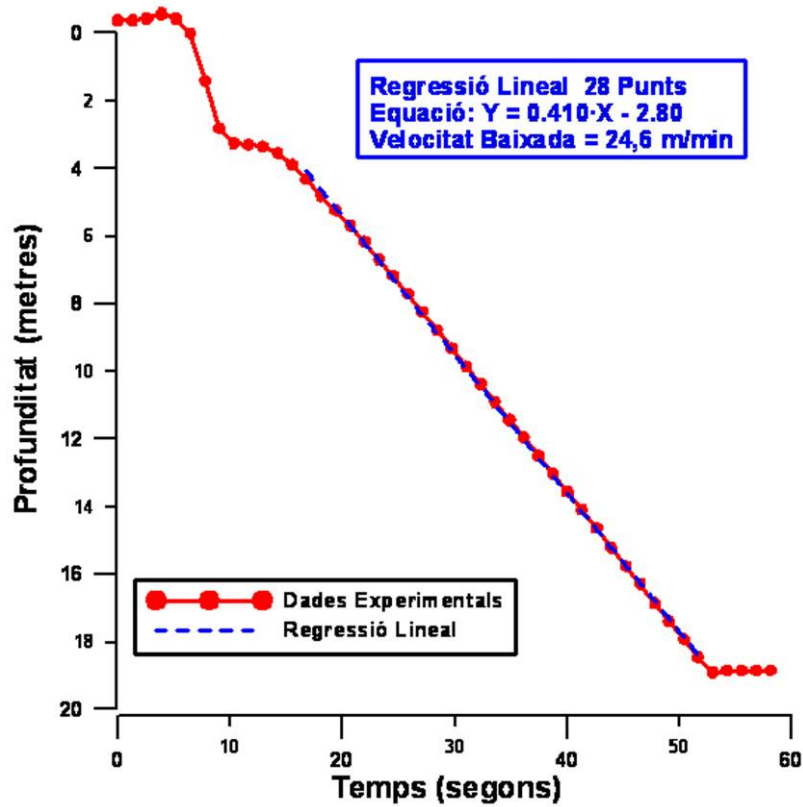


Figura A5 Dia 1 Baixada 3 Flotador 17" Mort 41kg

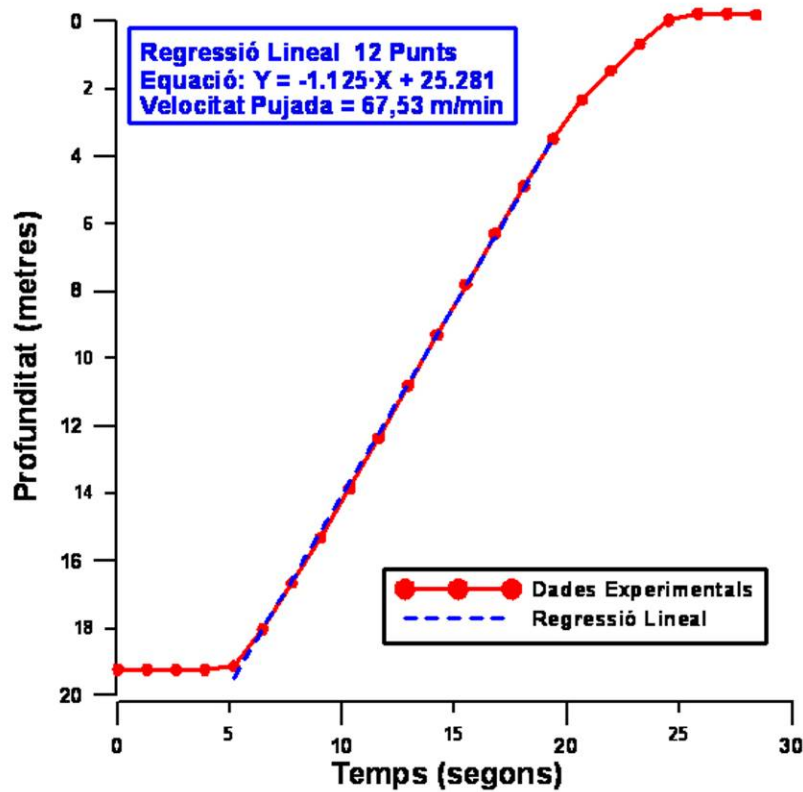


Figura A6 Dia 1 Baixada 3 Flotador 17"

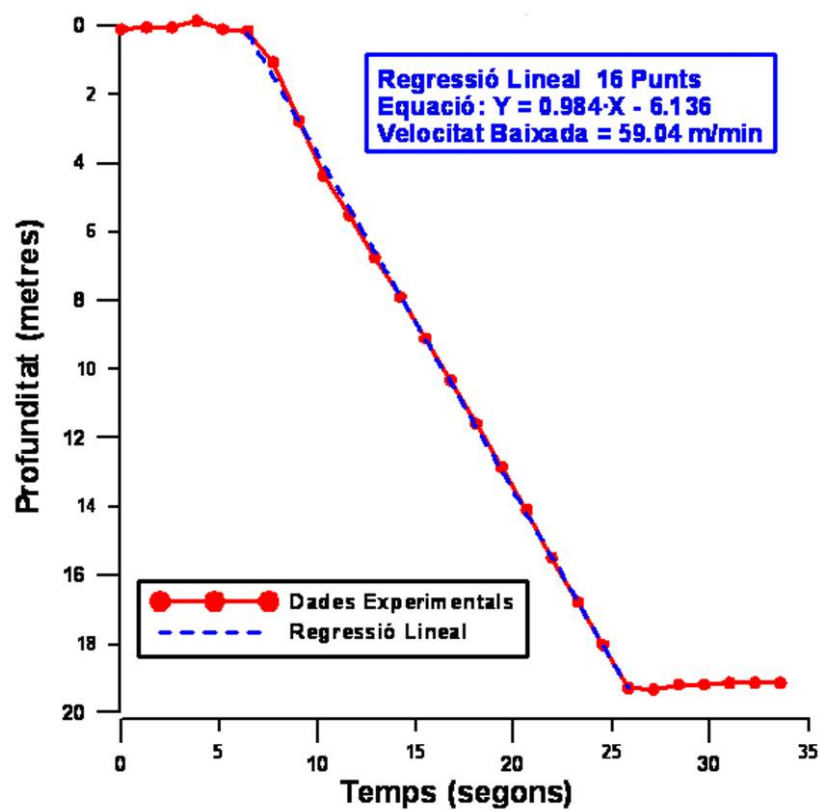


Figura A7 Dia 1 Baixada 4 Flotador 13" Mort 41kg

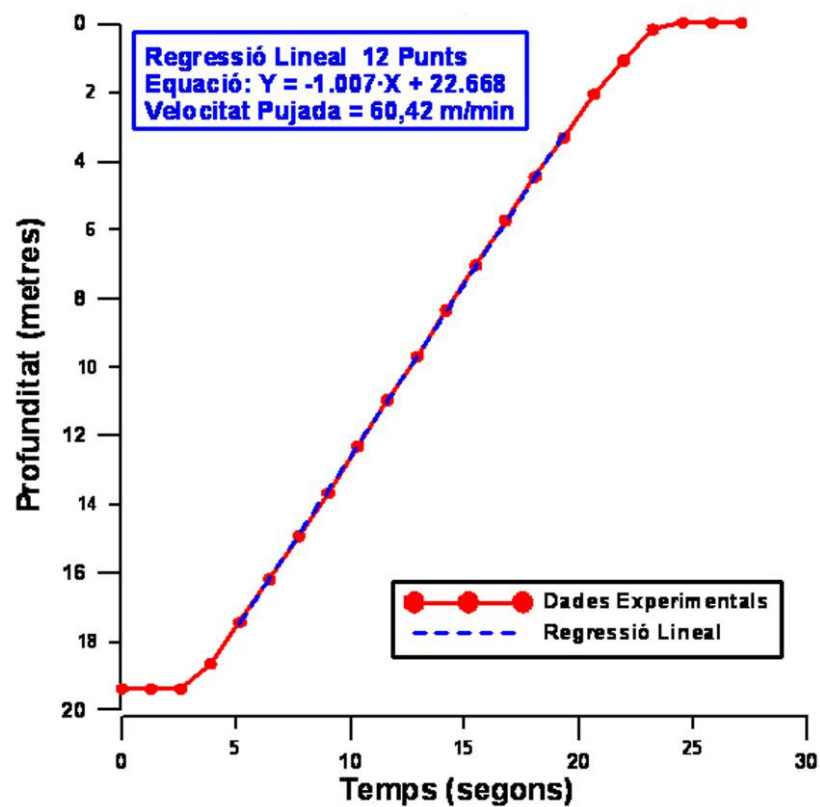
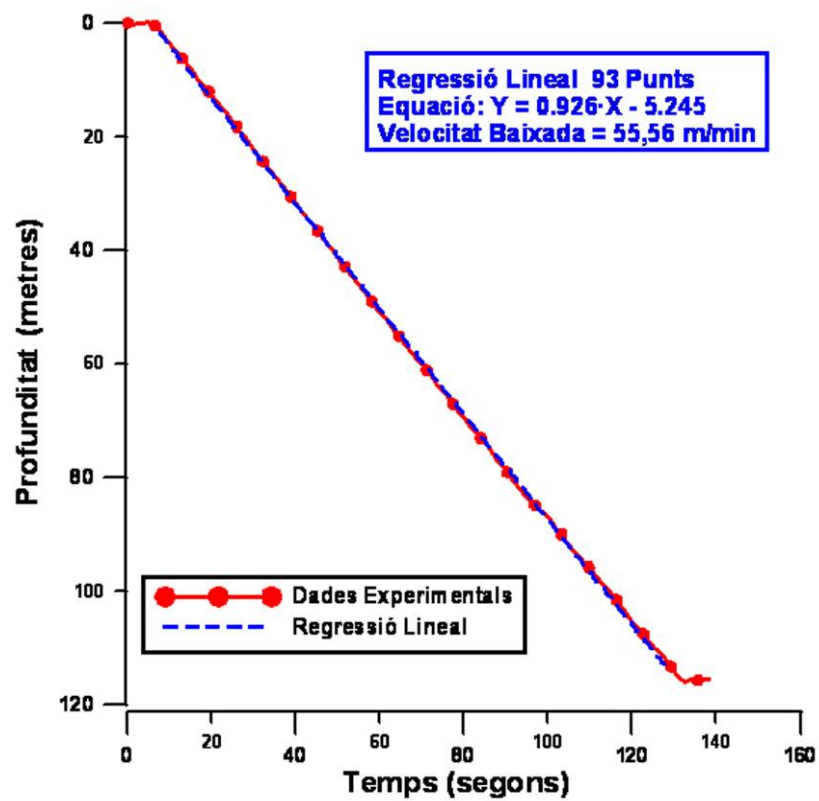
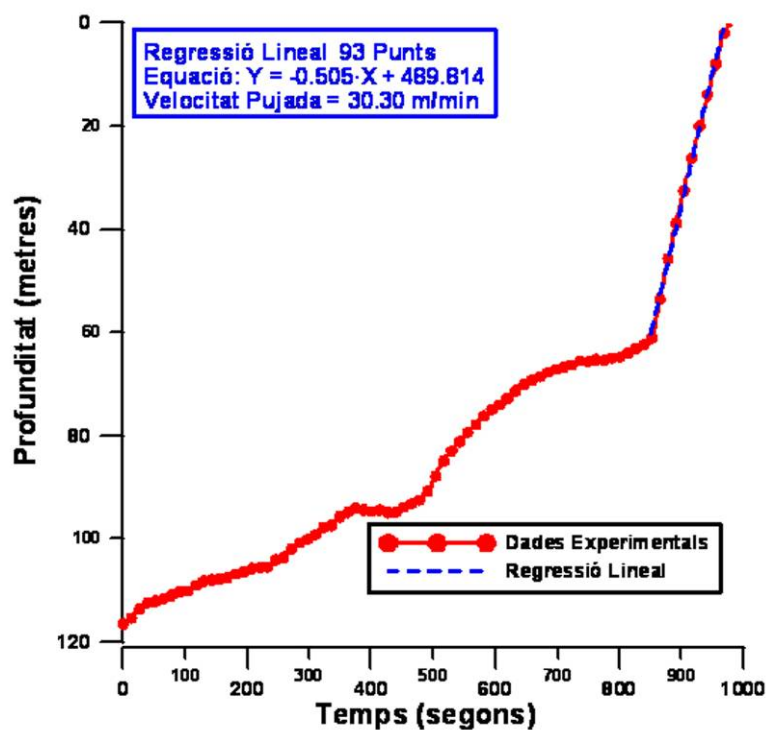


Figura A8 Dia 1 Baixada 4 Flotador 13"

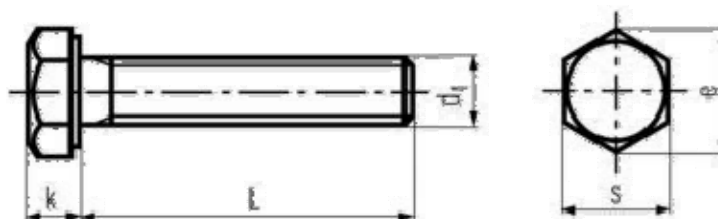
Figura A9 Dia 2 Baixada 1 Flotador 13" Mort 41kgFigura A10 Dia 2 Baixada 1 Flotador 13"

Annex B

Normativa

B1. DIN 933

Peça: Cargol Hexagonal

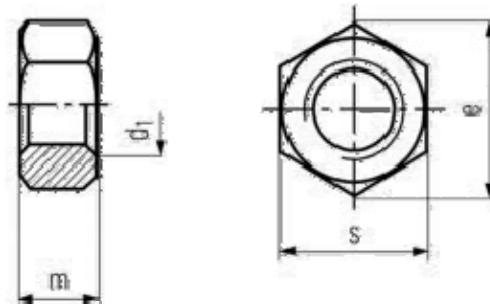


Totes les mesures estan en mil·límetres

d_1	k	e	s
M3	2	6.01	5.5
M4	2.8	7.66	7
M5	3.5	8.79	8
M6	4	11.05	10
M8	5.3	14.38	13
M10	6.4	18.9	17
M12	7.5	21.1	19
M14	8.8	24.49	22
M16	10	26.75	24
M18	11.5	30.14	27
M20	12.5	33.53	30

B2. DIN 934

Peça: Femella Hexagonal

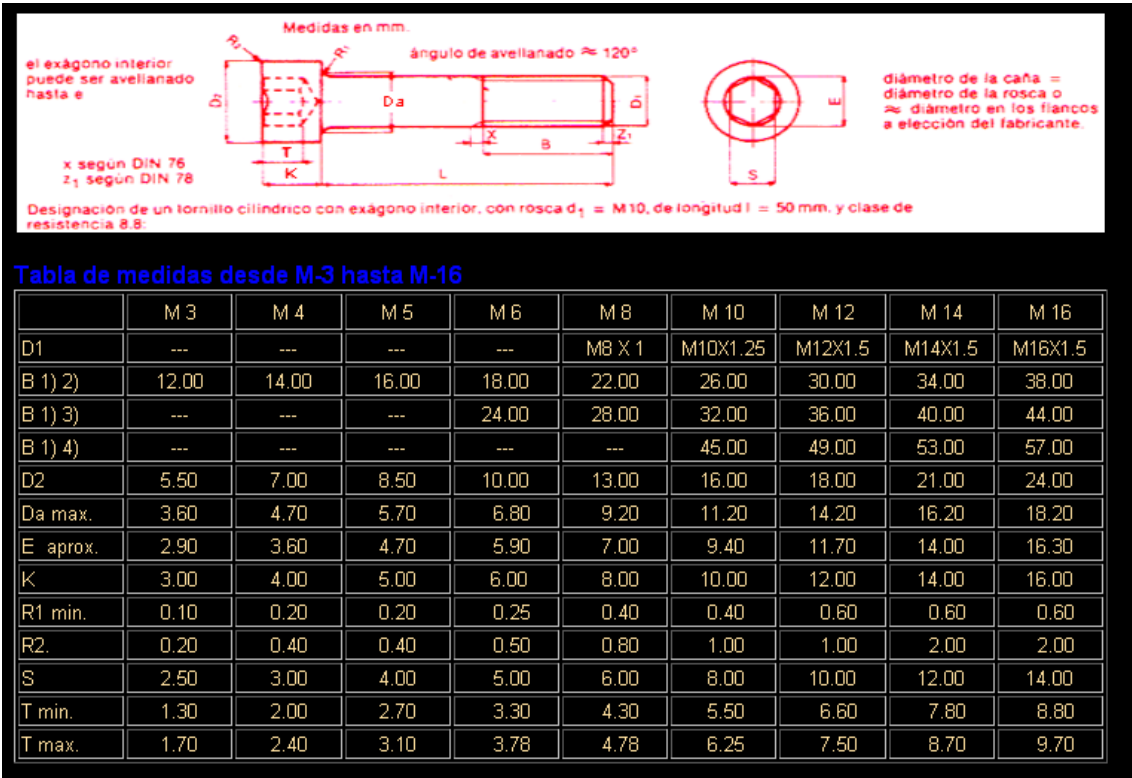


Totes les mesures estan en mil·límetres

d₁	s	e	m
M1	2.5	2.72	0.8
M1.2	3	3.29	1
M1.4	3	3.29	1.2
M1.6	3.2	3.48	1.3
M1.7	3.5	3.82	1.4
M2	4	4.32	1.6
M2.3	4.5	4.95	1.8
M2.5	5	5.45	2
M2.6	5	5.51	2
M3	5.5	6.01	2.4
M3.5	6	6.01	2.8
M4	7	7.66	3.2
M5	8	8.76	4
M6	10	11.05	5
M7	11	12.12	5.5
M8	13	14.38	6.5
M10	17	18.9	8
M12	19	21.1	10
M14	22	24.49	11
M16	24	26.75	13
M18	27	29.56	15
M20	30	32.95	16

B3. DIN 912

Peça: cargol allen

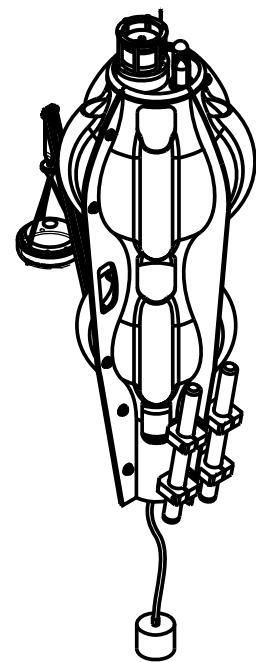
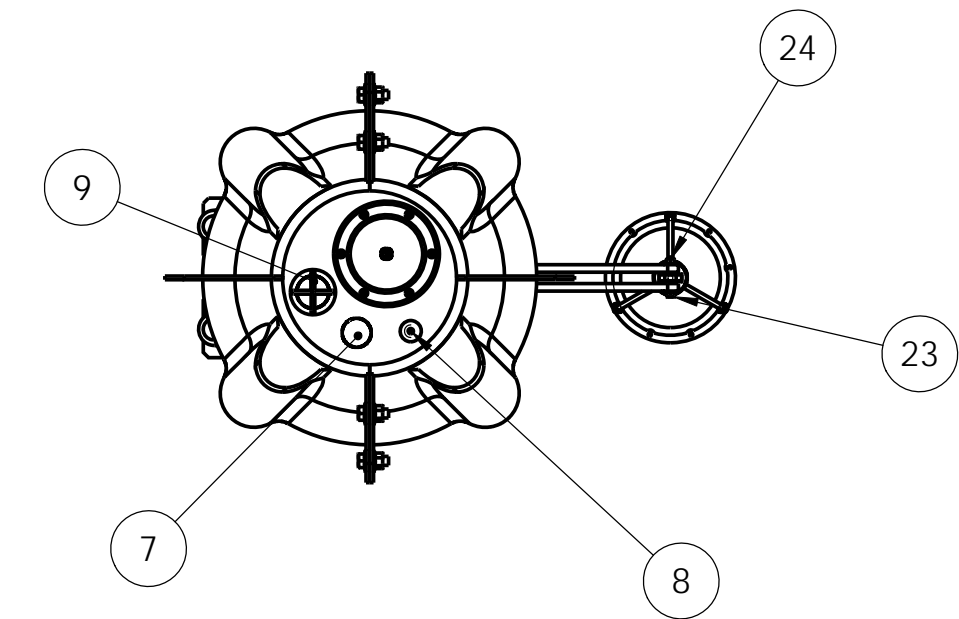
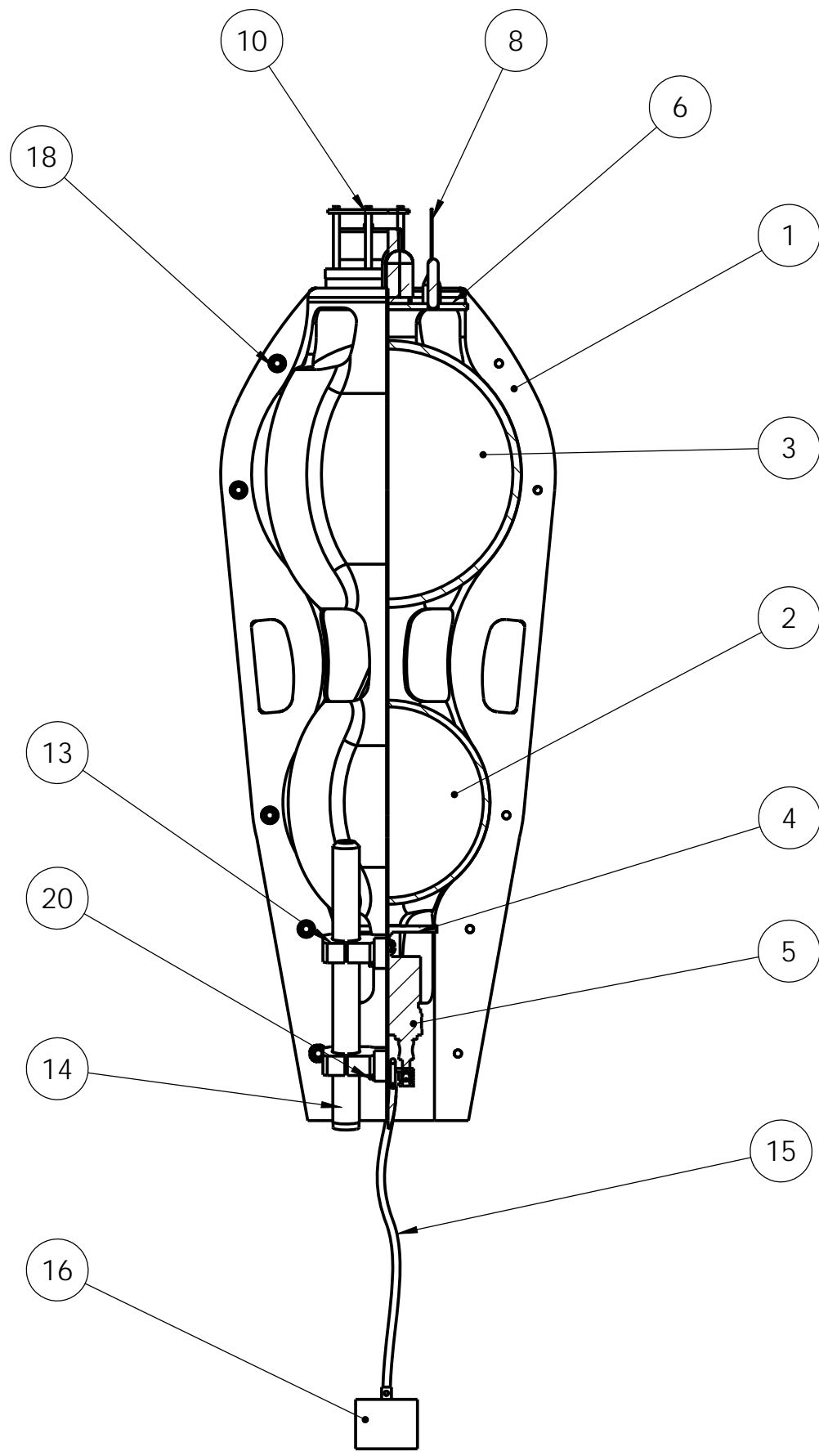
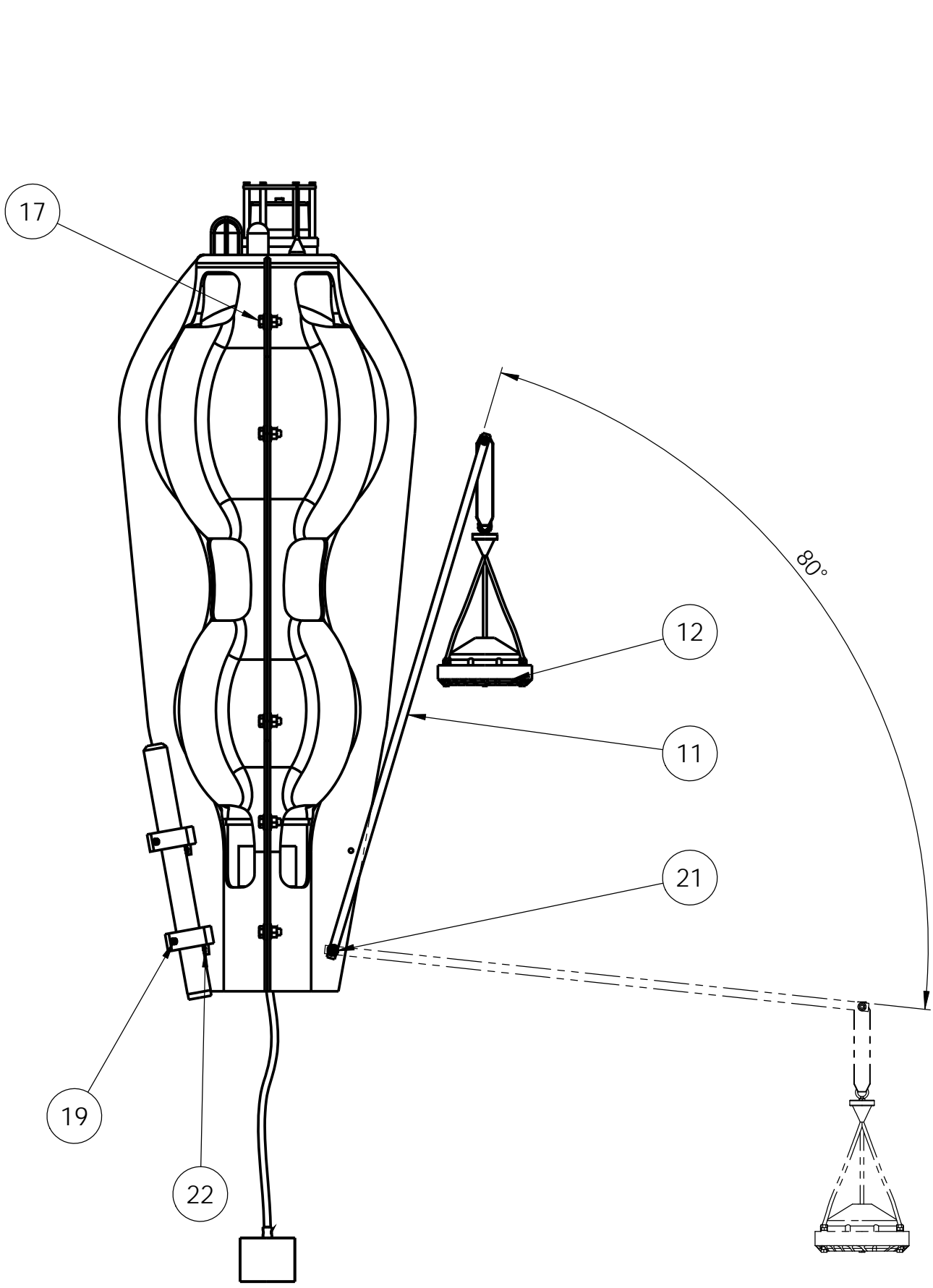


Nota: totes les mesures estan en mil·limetres

Les longituds normalitzades son des de 5 a 200mm

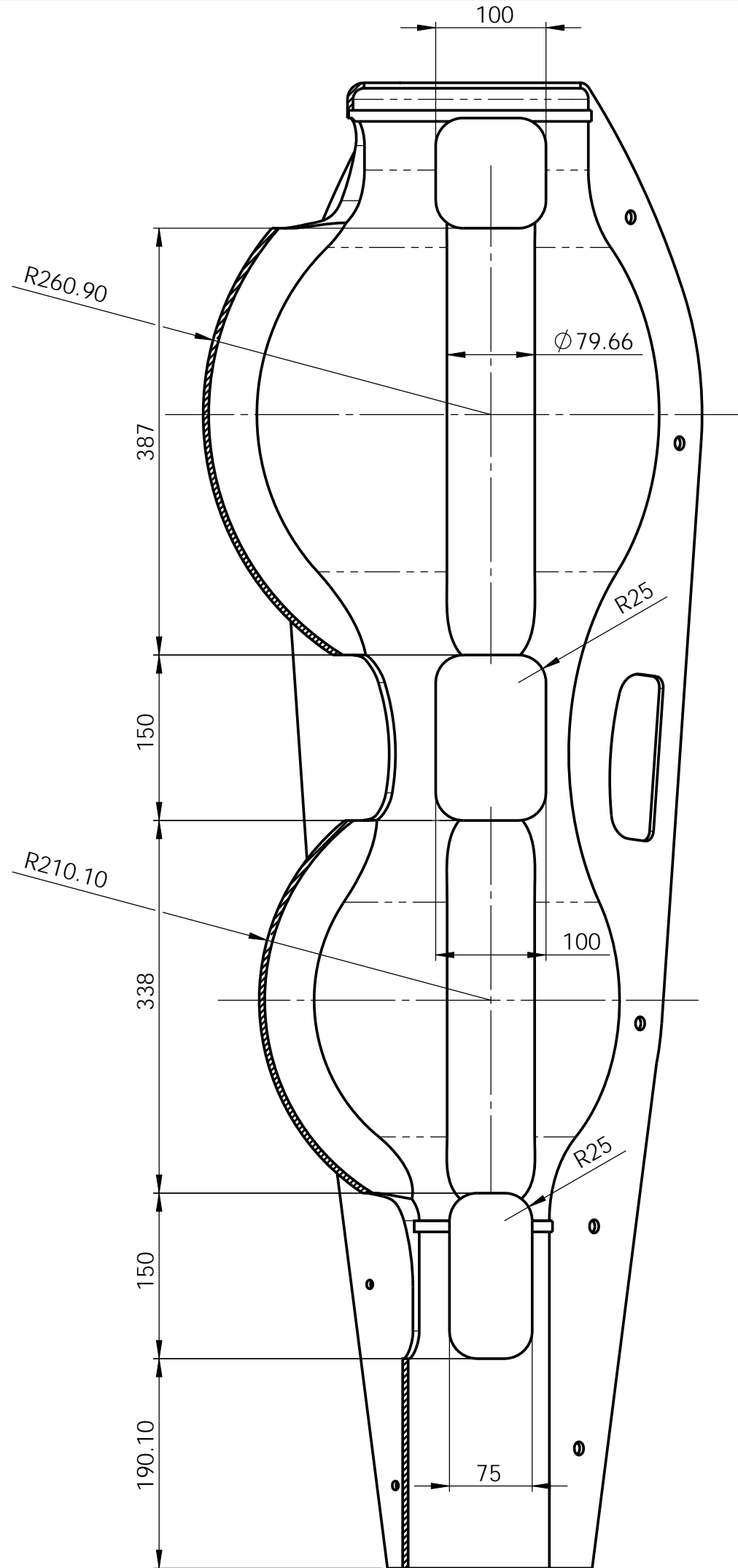
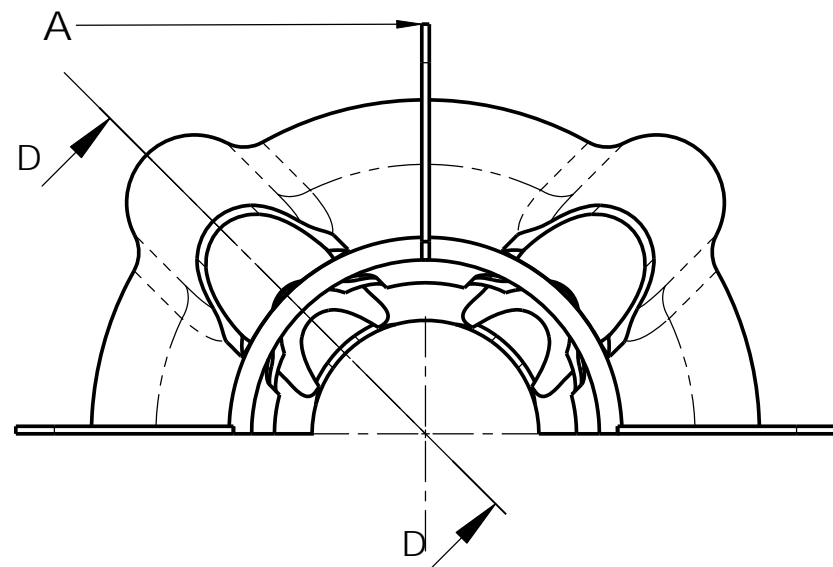
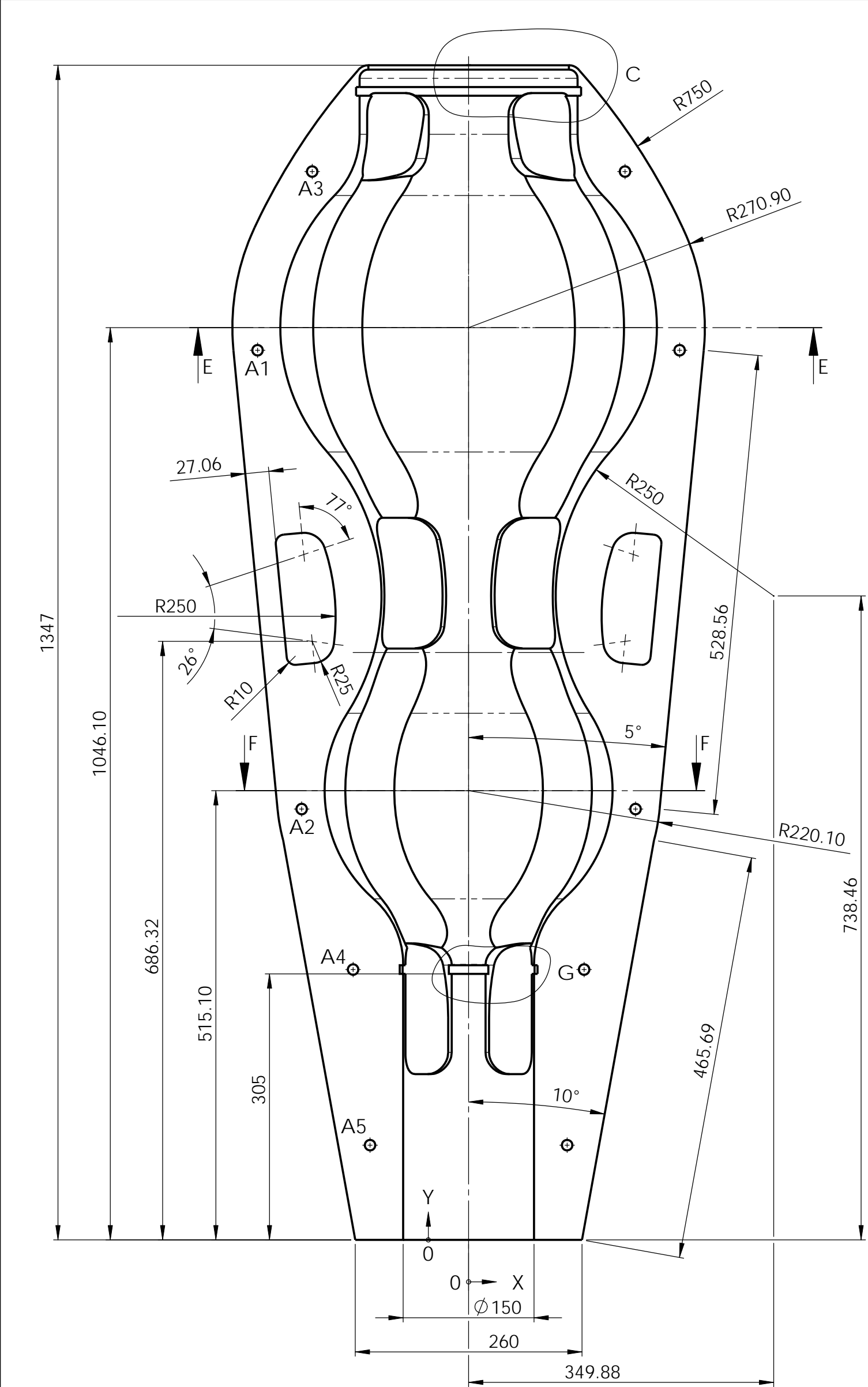
Annex C

Plànols



ESCALA 1:20

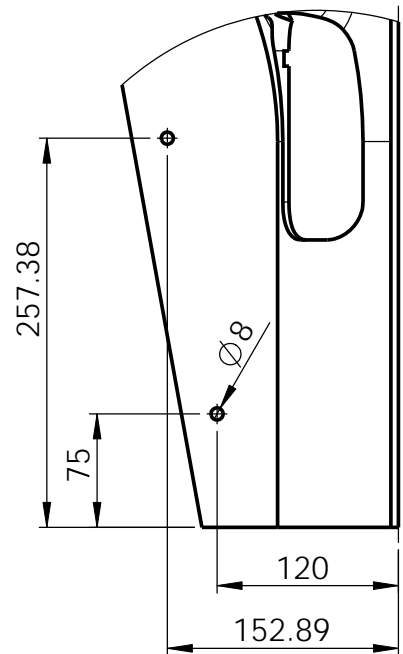
MARCA	DENOMINACIÓ	MATERIAL	NORMA	QUANTITAT
1	Carcassa OBS	PEHD		2
2	Esfera de 13	borosilicat de vidre		1
3	Esfera de 17	borosilicat de vidre		1
4	Suport alliberador	Acer		1
5	Alliberador	Varietat		1
6	Tapa superior	PEHD		1
7	Hidrofon	Varietat		1
8	Antena	Varietat		1
9	Llum	Varietat		1
10	Transductor	Varietat		1
11	Braç geòfon	PEHD		2
12	Geòfon	Varietat		1
13	Suport bateries	PEHD		4
14	Bateries	Varietat		2
15	Corda	Niló		1
10	Mort	Acer		1
17	Cargol M12-1.75x45	Niló	DIN 933	10
18	Femella M12-1.75	Niló	DIN 934	10
19	Cargol allen M6 - 1x50	Acer	DIN 912	4
20	Cargol M8 -1.25 x 55	Acer	DIN 933	2
21	Cargol M8 -1.25 x 45	Acer	DIN 933	1
22	Femella M8 -1.25	Acer	DIN 934	3
23	Cargol M6 -1x 55	Acer	DIN 933	1
24	Femella M6 -1	Acer	DIN 934	1
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	DESPECEJAMENT OBS			Plànol 0
1:10				EX. Nro.:
				Curs: OBS



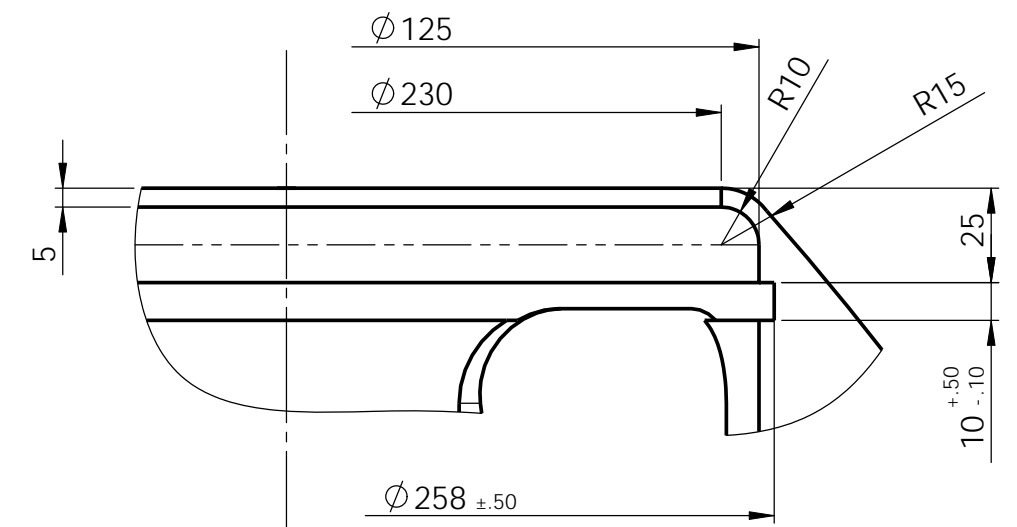
SECCIÓ D-D
ESCALA 1 : 5

Notas:
Espessor general de peça 2,5mm

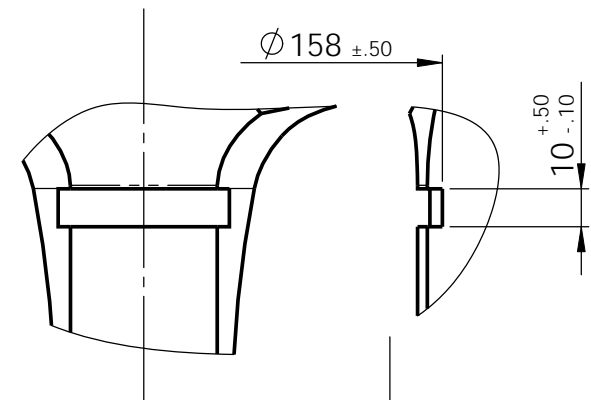
DENOM.	UBIC X	UBIC Y	MIDA
A1	-242	1020.18	$\varnothing 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$ PASSANT
A2	-191.42	494.04	$\varnothing 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$ PASANT
A3	-179.35	1225.08	$\varnothing 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$ PASSANT
A4	-132.45	310	$\varnothing 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$ PASSANT
A5	-112.99	108.62	$\varnothing 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0 \end{smallmatrix}$ PASSANT



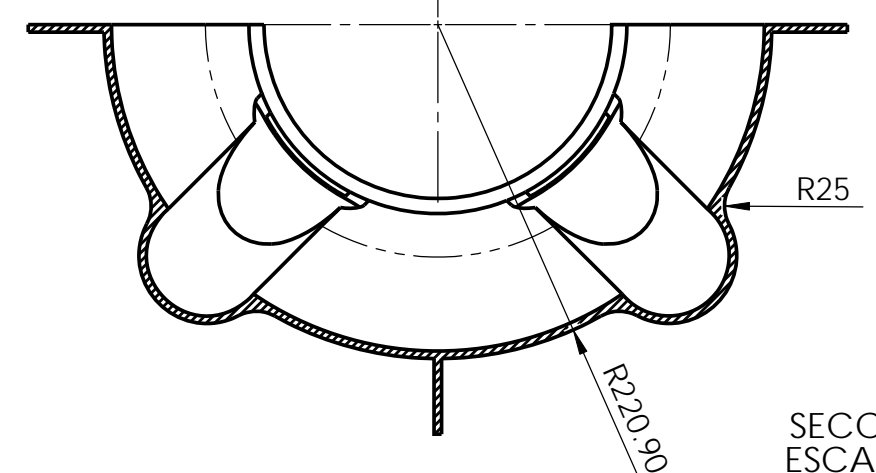
VIST PER A
ESCALA 1 : 5



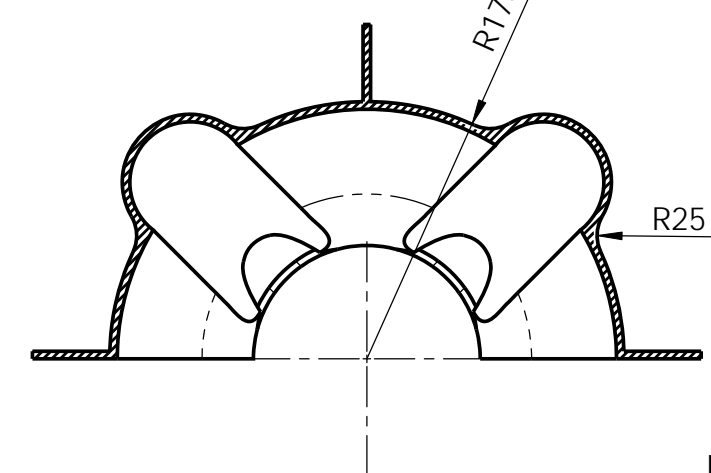
DETALL C
DETALL 1 : 2



DETALL G
DETALL 1 : 2

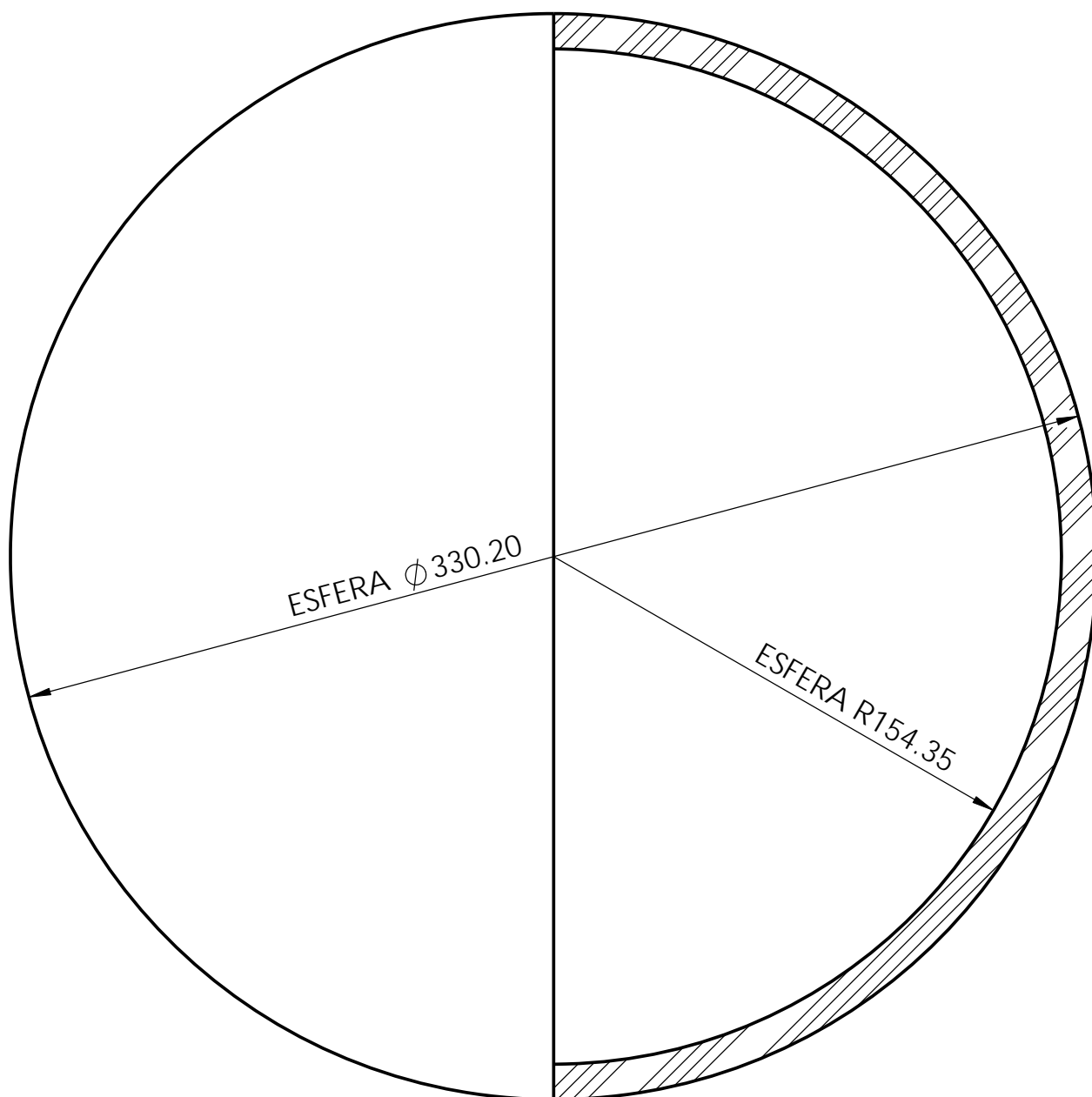


SECCIÓ E-E
ESCALA 1 : 5

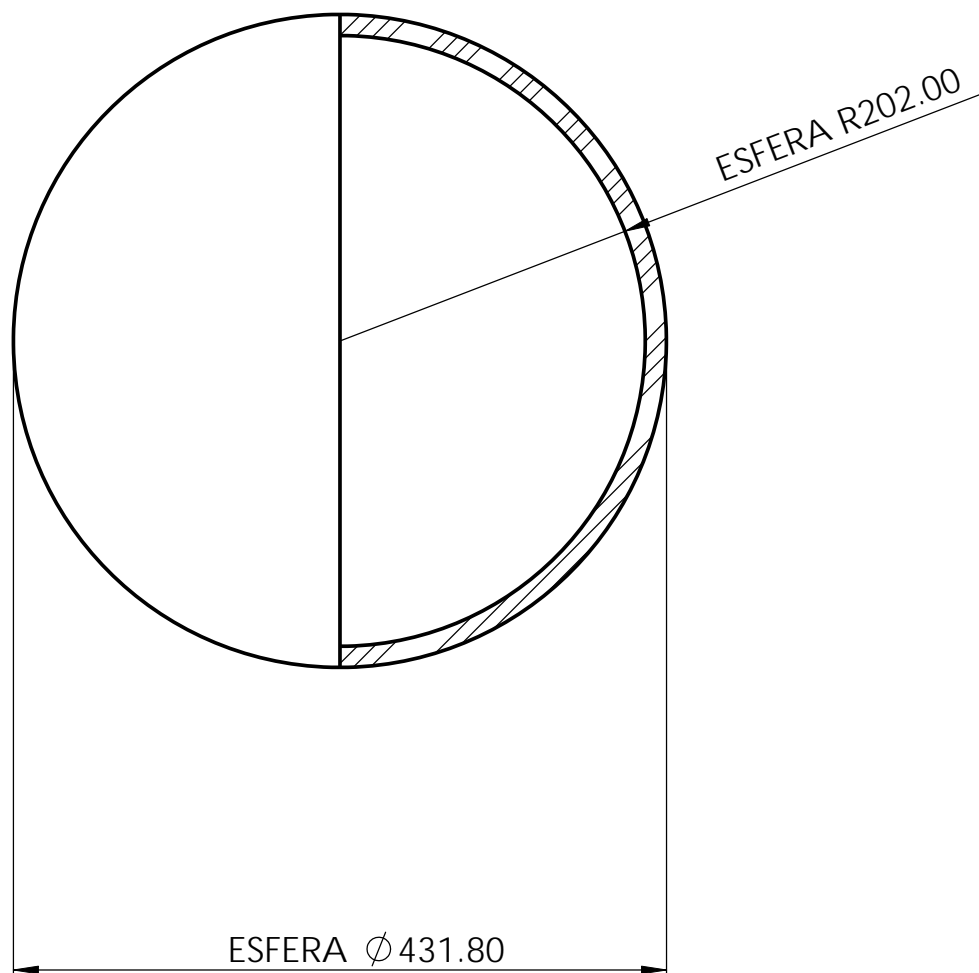


SECCIÓ F-F
ESCALA 1 : 5

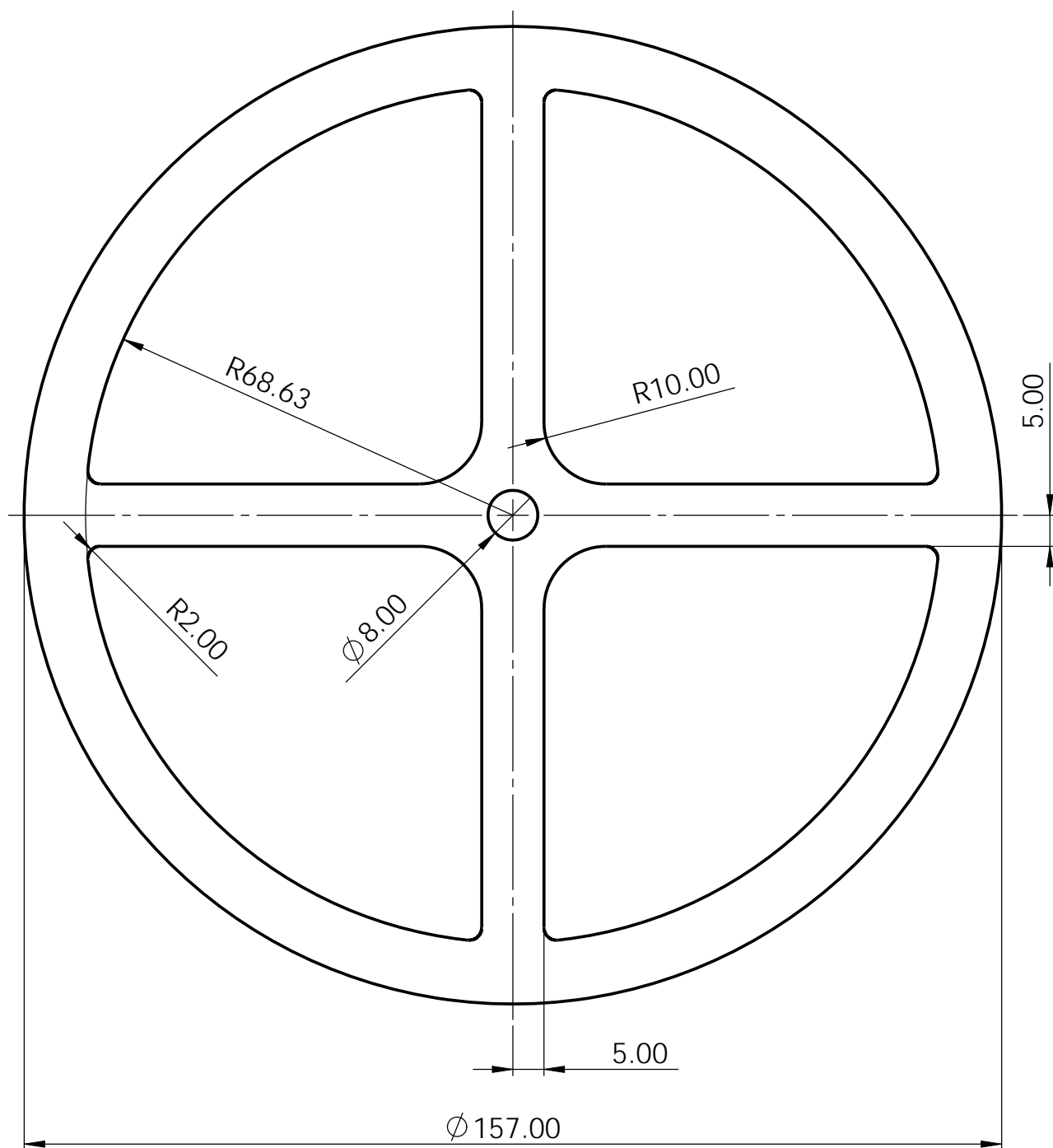
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	CARCASSA OBS		Plànol 1
1:5			EX. Nro.:
			Curs: OBS



	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	ESFERA DE 13			Plànol 2
1:2				EX. Nro.:
				Curs: OBS

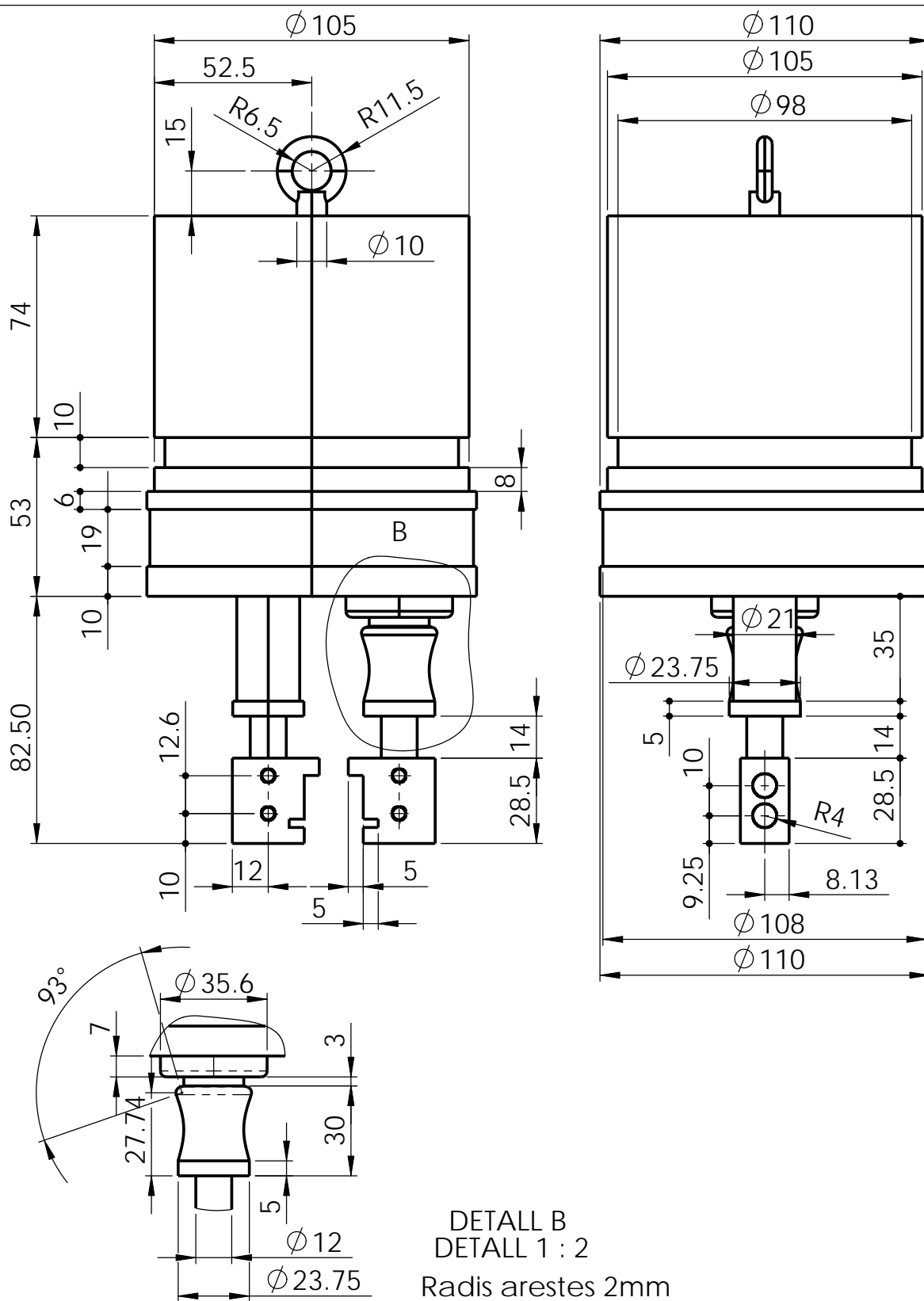


	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	ESFERA DE 17			Plànol 3
1:5				EX. Nro.:
				Curs: OBS

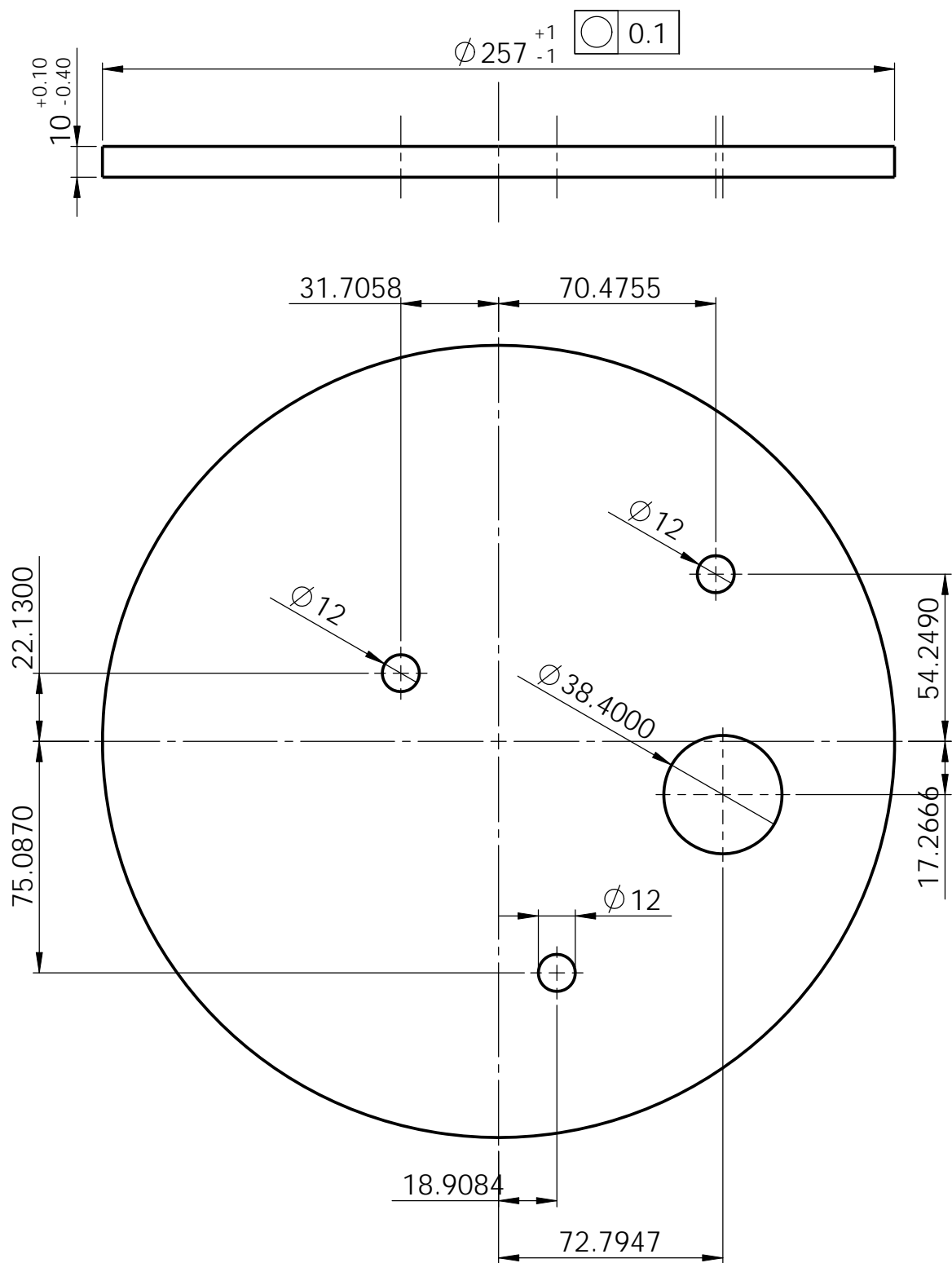


Gruix de la peça $10 \pm 0,4$ mm i forat passant

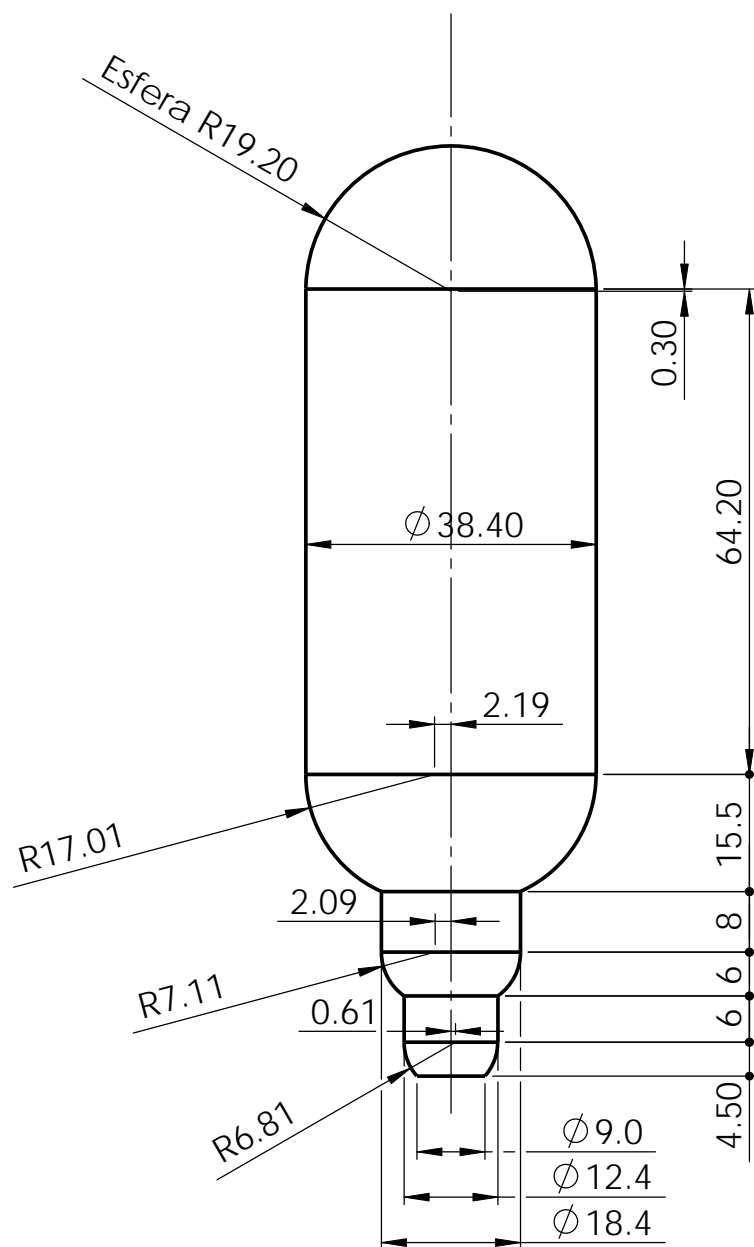
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	<p>SUPORT</p> <p>ALLIBERADOR</p>			Plànol 4
1:1				EX. Nro.:
				Curs: OBS



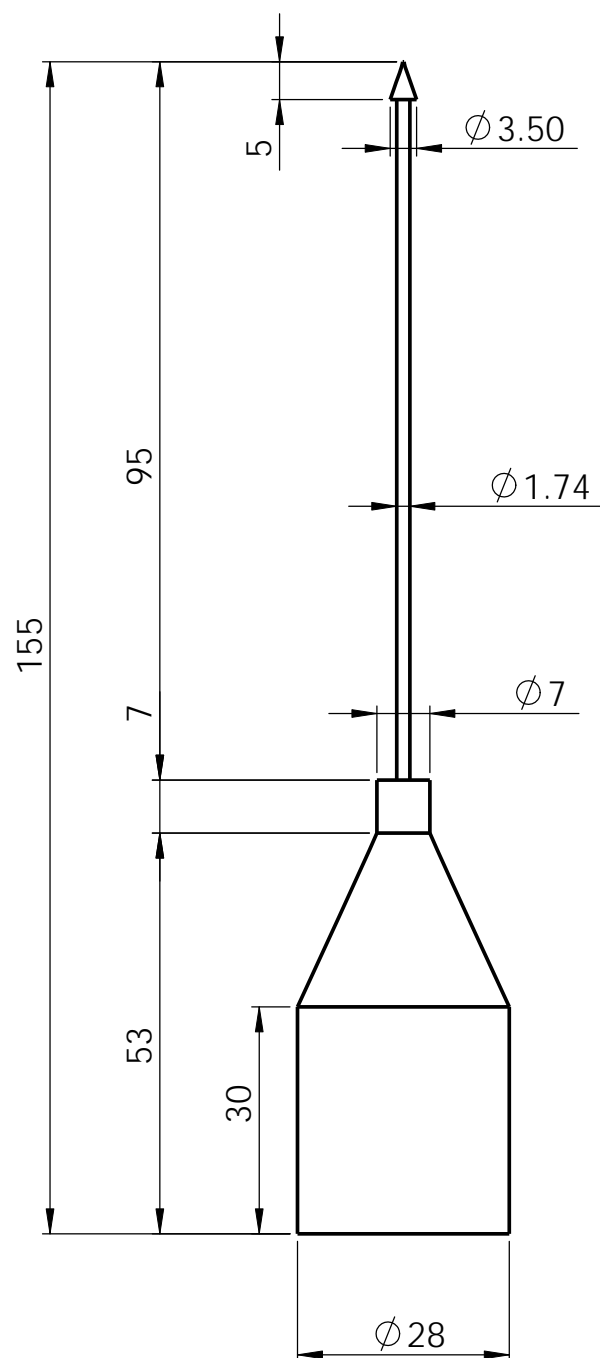
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	ALLIBERADOR		Plànol 5
1:1			EX. Nro.:
			Curs: OBS



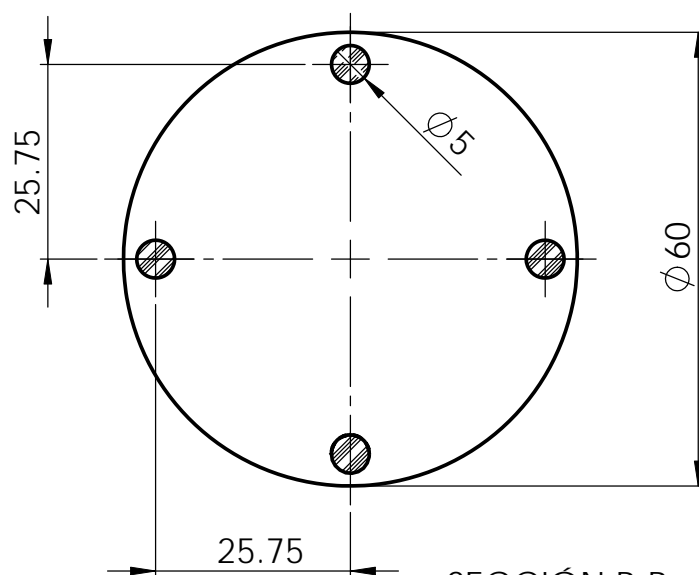
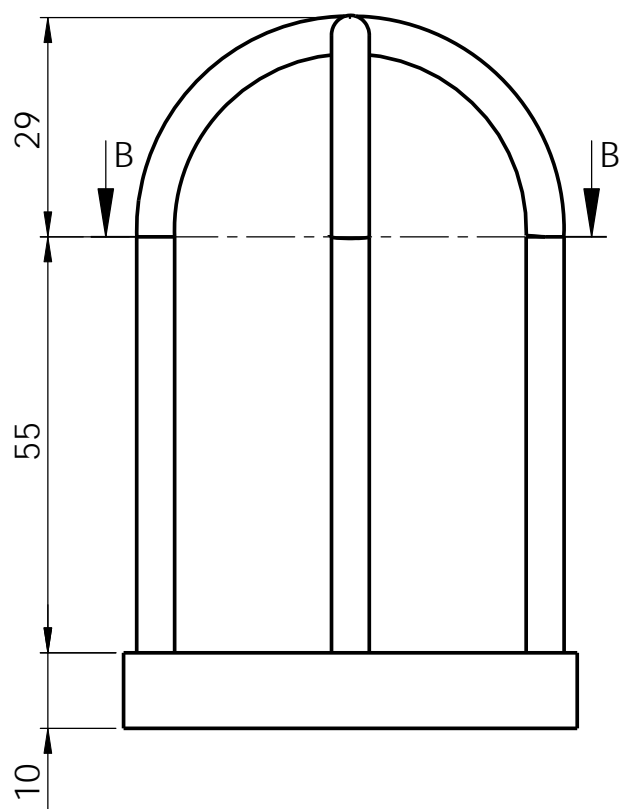
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	TAPA SUPERIOR		Plànol 6
1:2			EX. Nro.:
			Curs: OBS



	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	HIDRÒFON		Plànol 7
1:1			EX. Nro.:
			Curs: OBS

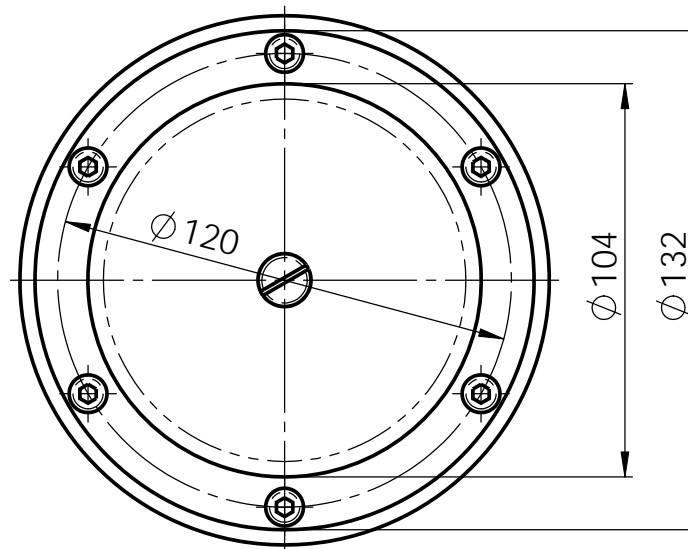
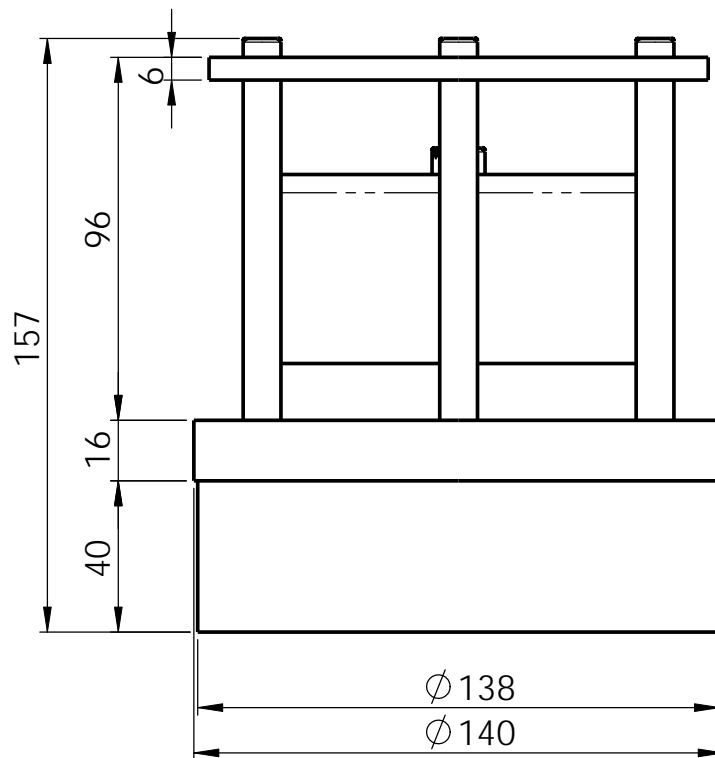


	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	ANTENA VHF			Plànol 8
1:1				EX. Nro.:
				Curs: OBS

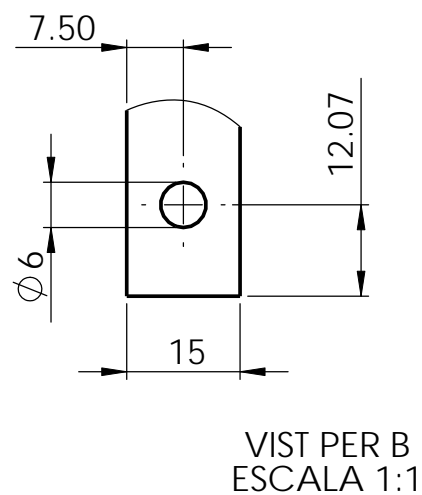
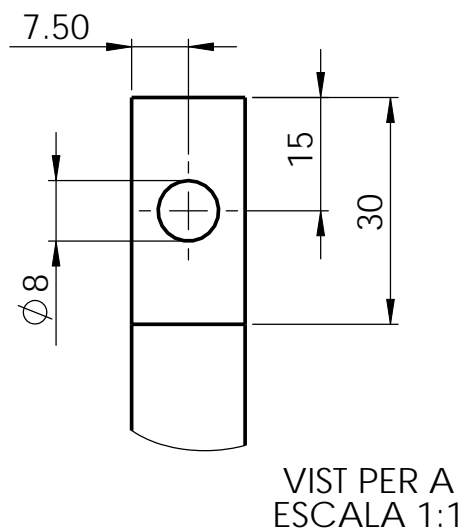
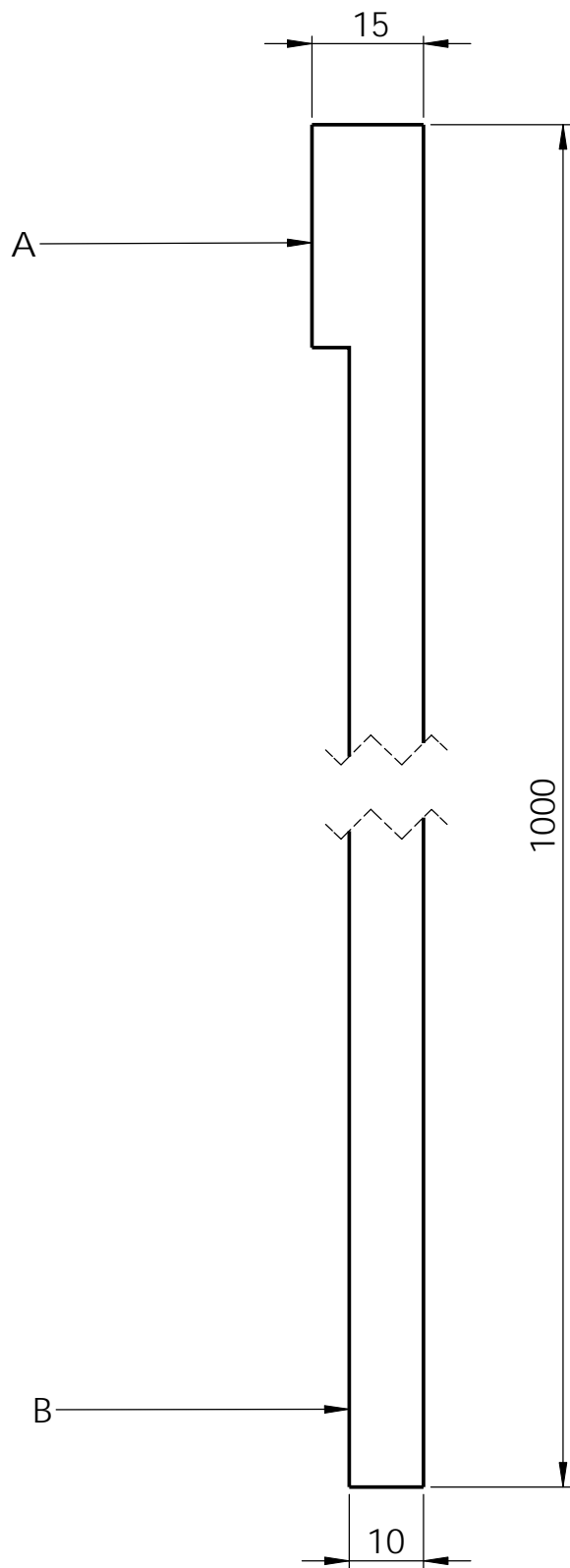


SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1

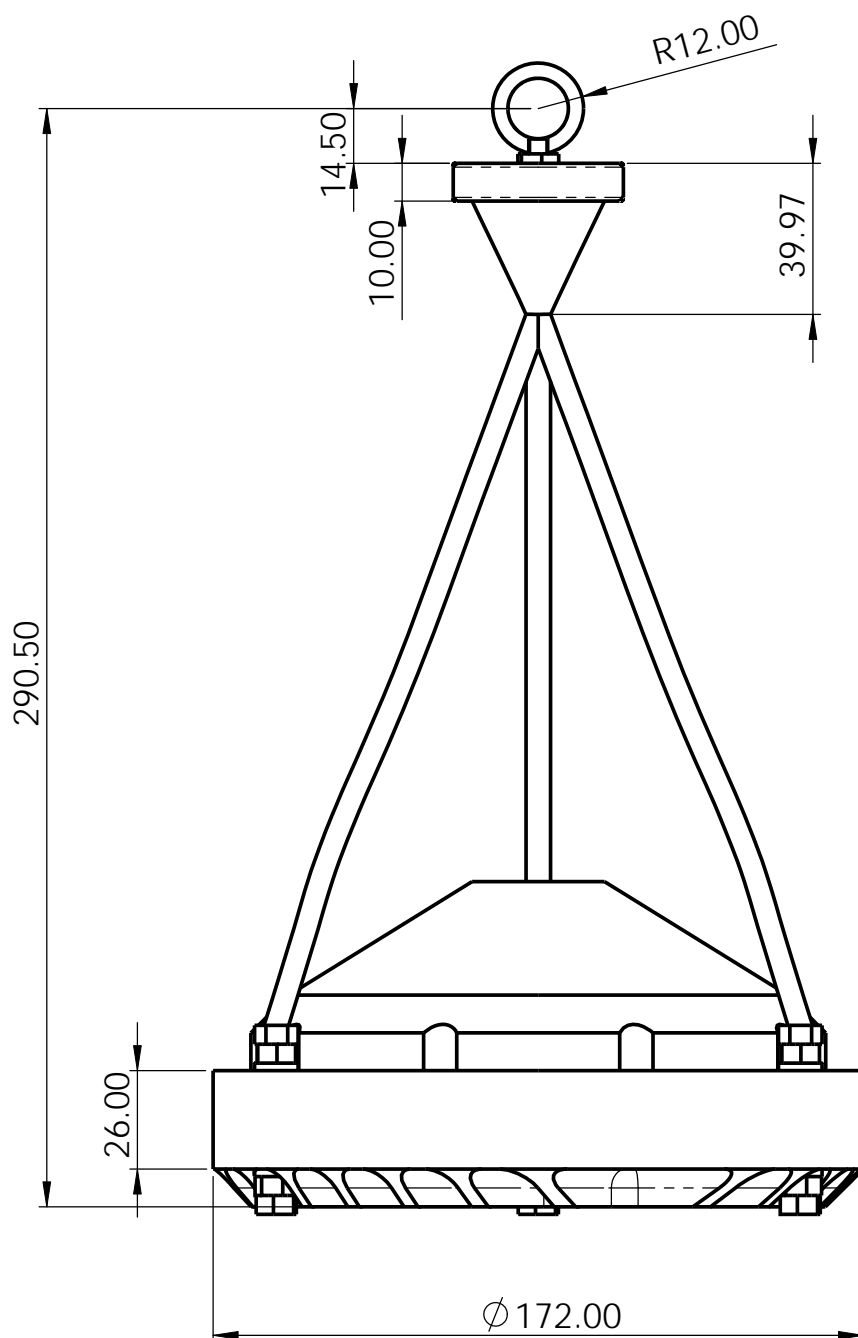
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	LLUM			Plànol 9
1:1				EX. Nro.:
				Curs: OBS



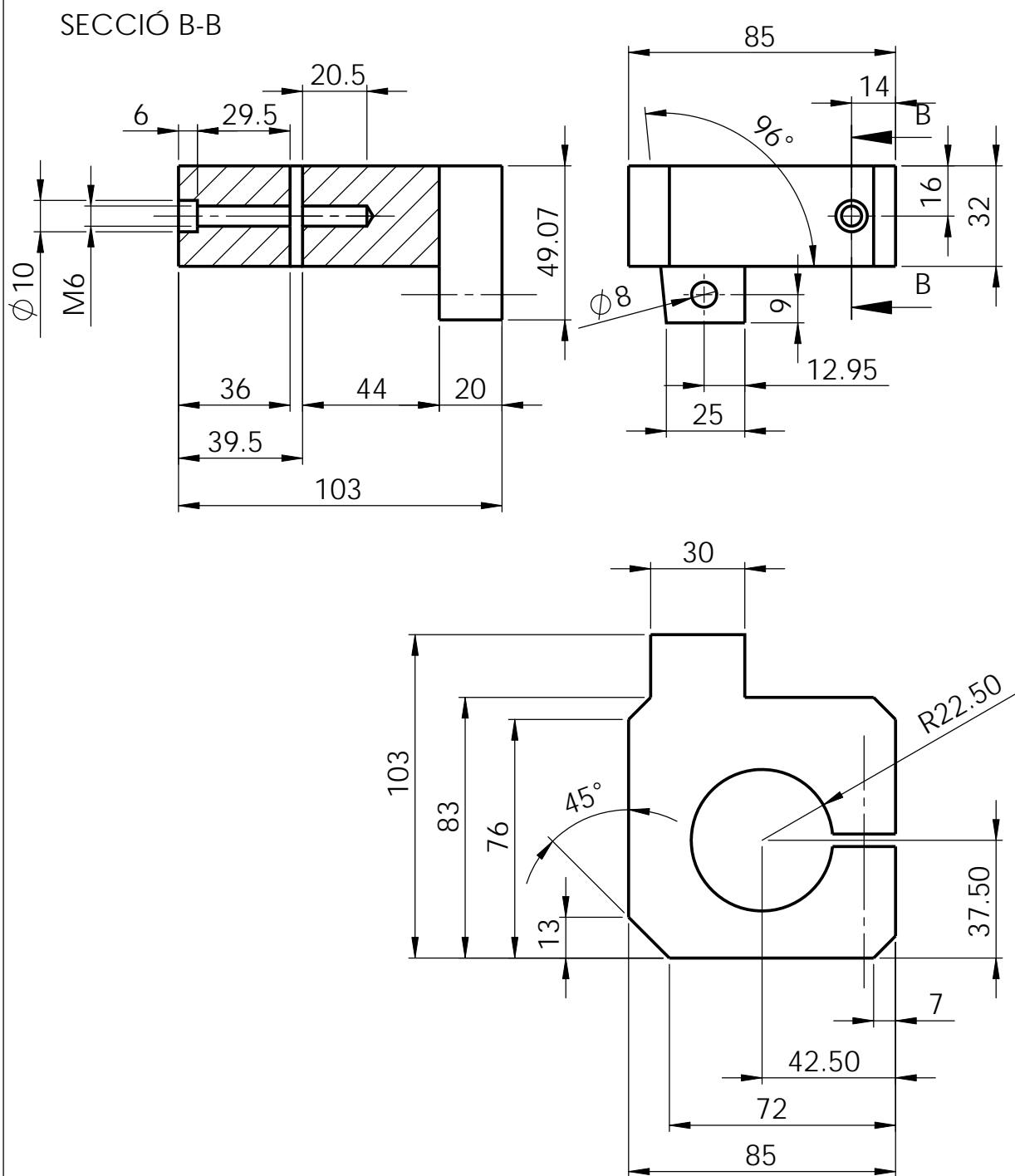
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	TRANSDUCTOR			Plànol 10
1:2				EX. Nro.:
				Curs: OBS



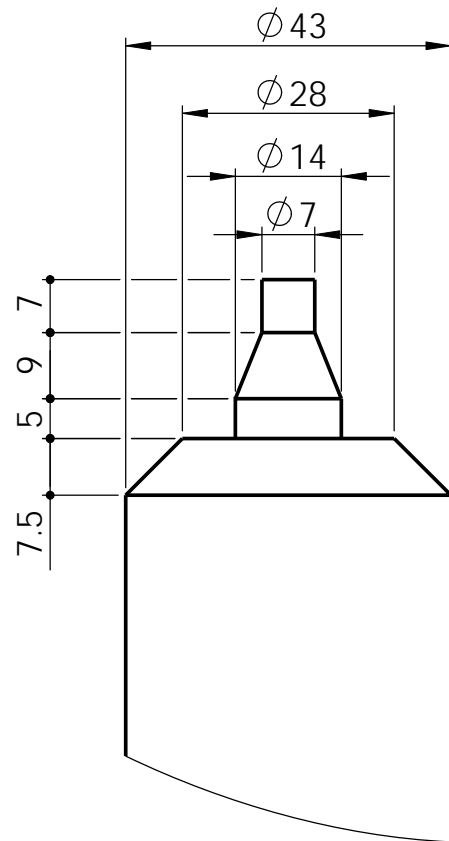
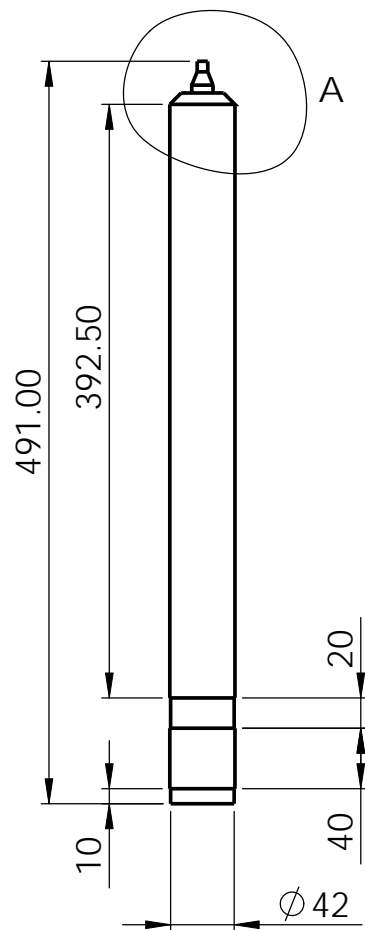
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	BRAÇ DEL GEÒFON		Plànol 11
1:1			EX. Nro.:
			Curs: OBS



	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	GEÒFON		Plànol 12
1:2			EX. Nro.:
			Curs: OBS

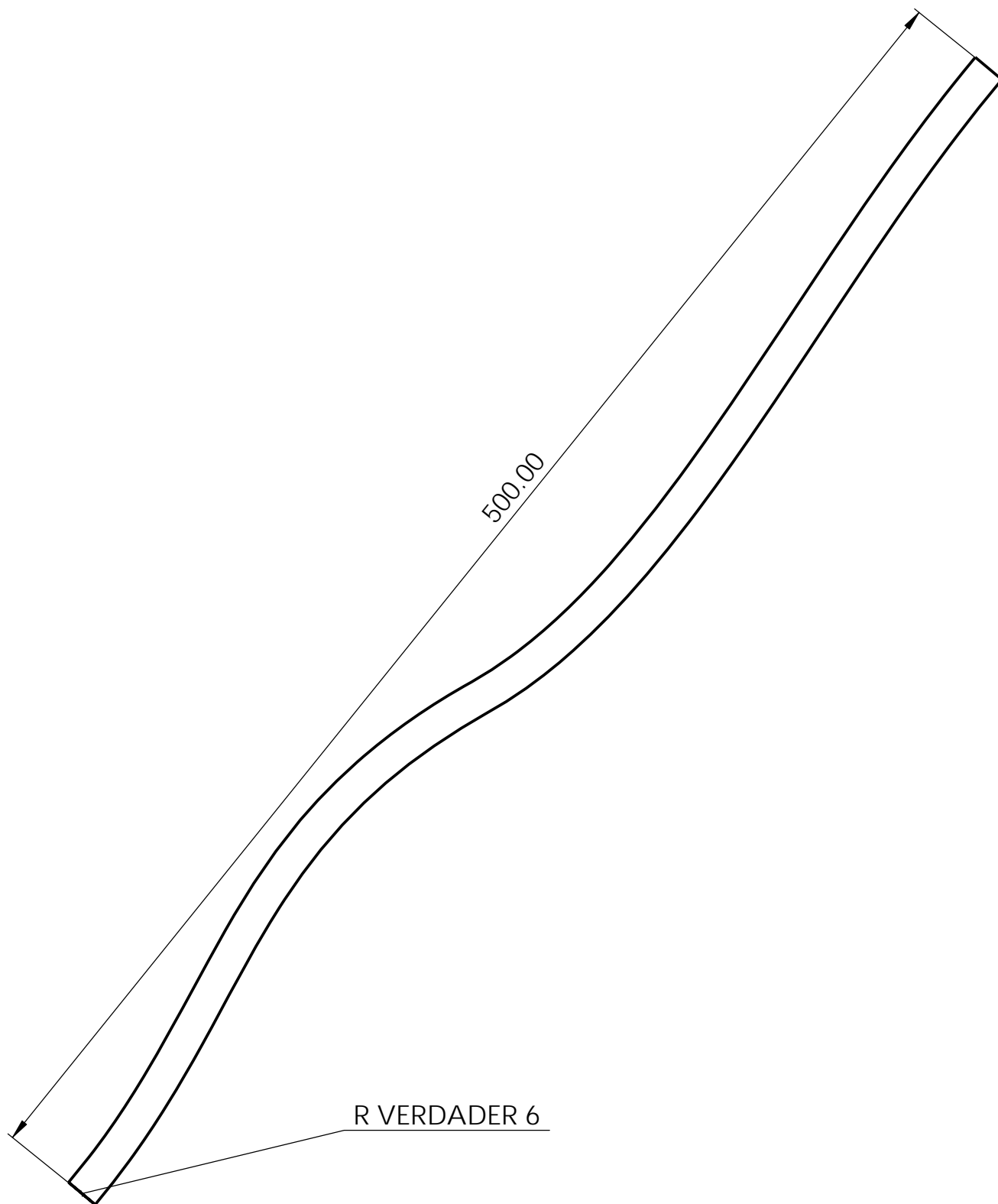


	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi	
Compr.			
ID.S.NR.			
Escala	SUBJECTA BATERIES		Plànol 13
1:2			EX. Nro.:
			Curs: OBS

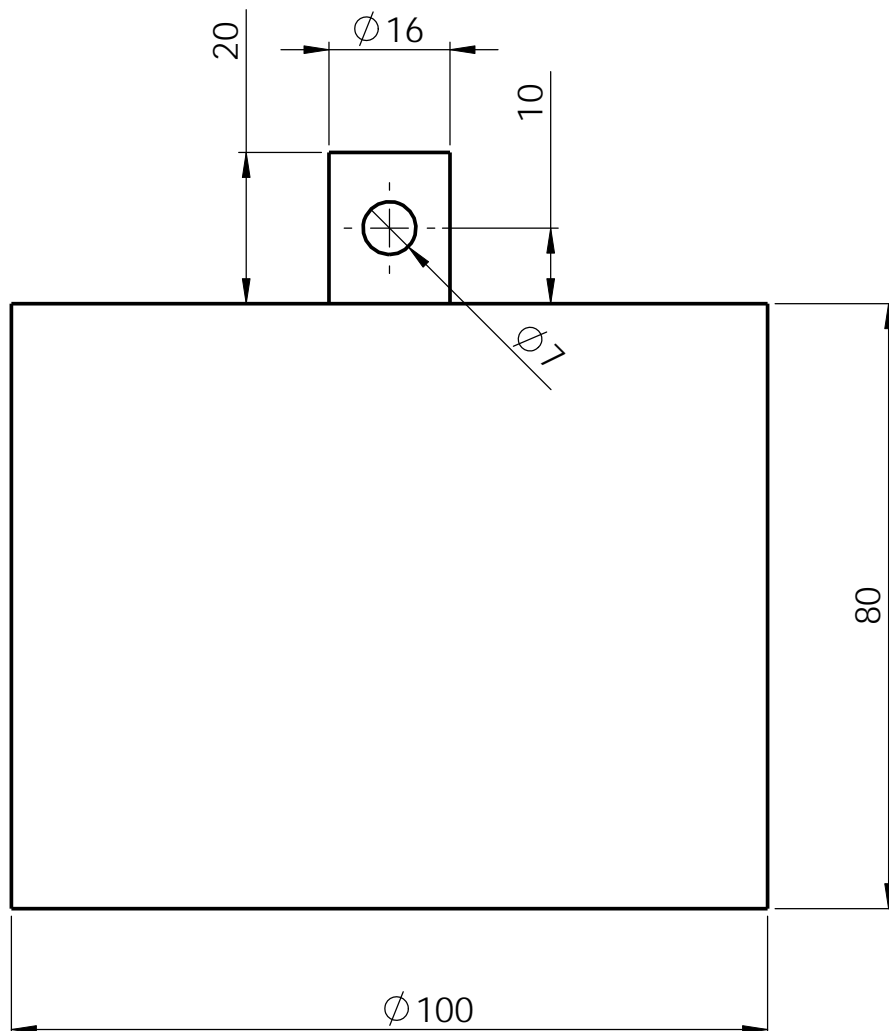


DETALL A
DETALL 1 : 1

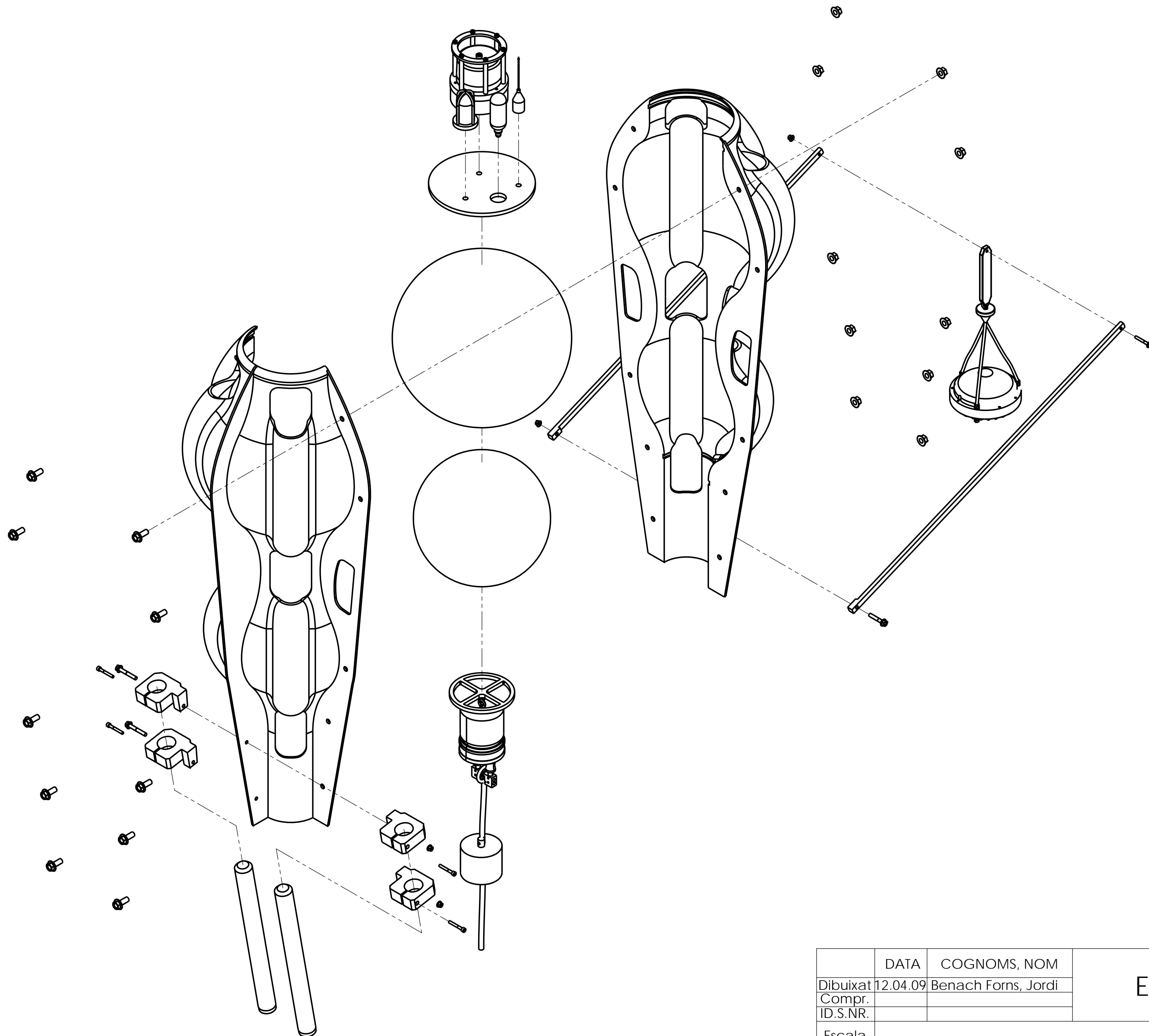
	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.	15.05.09	Carbonell, Montse		
ID.S.NR.				
Escala	BATERIA			Plànol 14
1:5				EX. Nro.:
				Curs: OBS



	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	CORDA			Plànol 15
1:2				EX. Nro.:
				Curs: OBS



	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	MORT			Plànol 16
1:1				EX. Nro.:
				Curs: OBS



	DATA	COGNOMS, NOM	E.P.S.E.V.G.	
Dibuixat	12.04.09	Benach Forns, Jordi		
Compr.				
ID.S.NR.				
Escala	EXPLOSIONAT OBS			Plànol
1:7				EX. Nro.:
				Curs: OBS